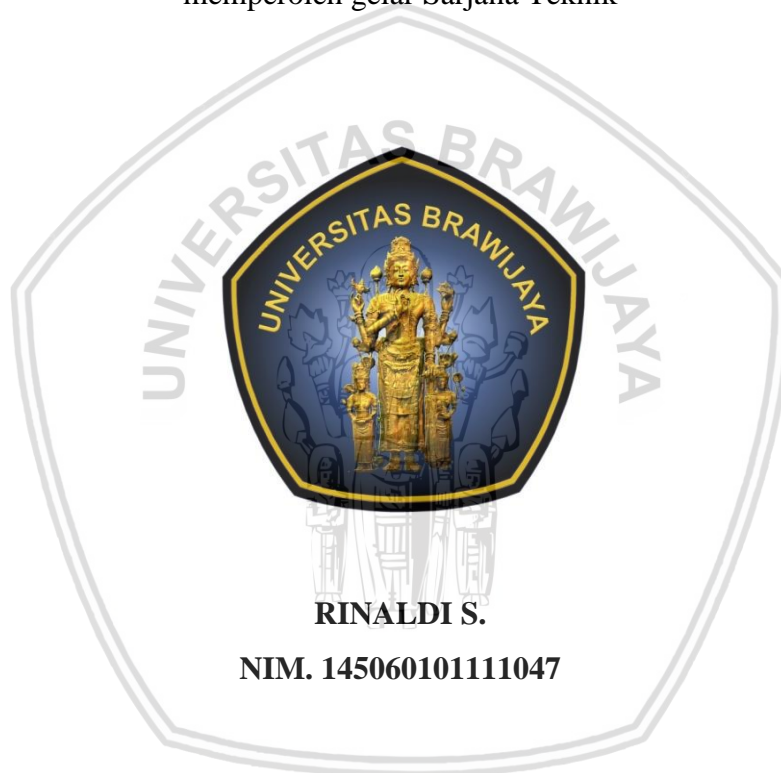


**PENGARUH KOMPOSISI AGREGAT KASAR LIMBAH BATU BATA  
DAN AGREGAT HALUS LIMBAH PLASTIK TERHADAP KUAT  
GESER BALOK BETON BERULANG BAMBU**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**RINALDI S.**

**NIM. 145060101111047**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH KOMPOSISI AGREGAT KASAR LIMBAH BATU BATA DAN  
AGREGAT HALUS LIMBAH PLASTIK TERHADAP KUAT GESER BALOK  
BETON BERTULANG BAMBU**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Serjana Teknik



Disusun oleh:

**RINALDI S.**  
**145060101111047**

Skripsi ini telah dinyatakan lulus dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 23 Juli 2018

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS**  
NIP. 19511211 198103 2 001

**Dr. Eng Ming Narto W., ST, MT, M.Sc**  
NIP. 19610125 198601 1 001

Mengetahui  
**Ketua Program Studi S1**

**Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac)**  
NIP. 19810220 200604 1 002





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



**SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : 029 /UN10.F07.11.11/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**RINALDI S**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH KOMPOSISI AGREGAT KASAR LIMBAH BATU BATA DAN AGREGAT HALUS  
LIMBAH PLASTIK TERHADAP KUAT GESER BALOK BETON BERTULANG BAMBU**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 24 Juli 2018



Ketua Jurusan Teknik Sipil

**Dr. Eng. Alwafi Pujiaraharjo, ST, MT**  
NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

**Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)**  
NIP. 19810220 200604 1 002



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah hasil pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

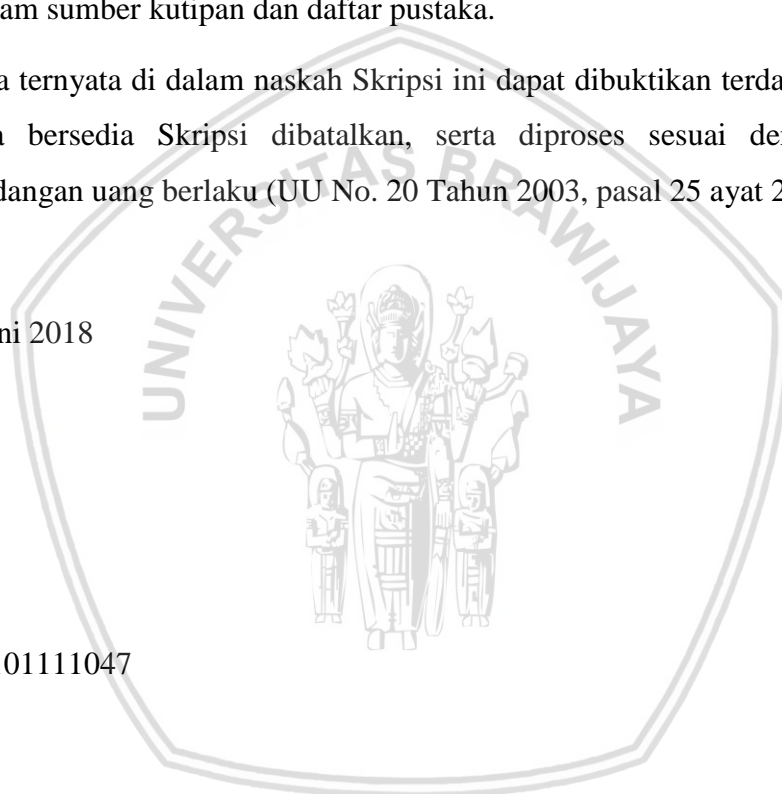
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 23 Juni 2018

Mahasiswa,

Rinaldi S.

NIM. 145060101111047





## RIWAYAT HIDUP

Rinaldi S, lahir di Kendari, 28 Februari 1997, anak pertama dari Bapak Marthen Sattu dan Ibu Debora Sanda. Menjalani pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 2 Baruga Kendari, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 4 Kendari, dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Kendari, lulus pada tahun 2014. Kemudian dilanjutkan dengan mengambil pendidikan sarjana di Universitas Brawijaya, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2018.

Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam kegiatan akademis dan organisasi. Kegiatan akademis yaitu diantaranya menjadi asisten tugas besar mata kuliah Hidrologi pada tahun 2016 dan mata kuliah Perpetaan & SIG pada tahun 2017. Sedangkan untuk organisasi aktif sebagai Wakil ketua DPA (Dewan Perwakilan Angkatan) periode 2016/2017, serta berpartisipasi pada berbagai macam kegiatan kepanitian yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Sipil.

Malang, 23 Juli 2018

Penulis

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena hanya berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Komposisi Agregat Kasar Limbah Batu Bata dan Agregat Halus Limbah Plastik Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang Bambu” dengan baik.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan lancar tanpa adanya bantuan, bimbingan serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
3. Dr. Eng Indradi W, ST, M..Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
4. Dr. Ir. Wisnumurti, MT selaku KKDK Struktur.
5. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS selaku dosen pembimbing 1 atas kesediaan, kesabaran dan waktu luang untuk membimbing penulis hingga skripsi ini selesai. Serta selaku dosen penasehat akademik selama empat tahun yang telah memberikan nasihat dan arahan selama masa perkuliahan.
6. Dr. Eng Ming Narto W., ST, MT, M.Sc selaku dosen pembimbing 2 atas kesediaan, kesabaran dan waktu luang untuk membimbing penulis hingga skripsi ini selesai.
7. Segenap dosen dan karyawan di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu dan membantu dalam urusan akademik selama perkuliahan.
8. Bapak Sugeng dan Mas Dino selaku Laboran Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi serta Bapak Hadi yang selalu membantu dalam penelitian di laboratorium.



9. Kedua orang tua tercinta, Bapak Marthen Sattu dan Ibu Debora Sanda yang telah membesarkan, merawat, mendoakan, membimbing dan memberi restu serta dukungan hingga saat ini dan nanti.
10. Kakak, Medy Sanda Layuk, Dedy Sanda Layuk, Robby Sanda Layuk, Shinta Indriyani dan seluruh keluarga besar yang telah memberi semangat, mendoakan, dan mendukung hingga saat ini dan nanti.
11. Teman-teman sesama tim penelitian dan tugas akhir (Sastria, Finia, Neyla, Ryan dan Jordi) yang telah bekerja bersama-sama dalam mengerjakan skripsi dari awal hingga akhir.
12. Teman-teman kontrakan (Andre, Fredo, Bill, Key, Frans, Matt, Cuko, Julius, Valen) yang selalu mendukung dan memberi semangat dalam mengerjakan skripsi.
13. Teman-teman di Kendari yang selalu memberikan nasihat, semangat dan mendengarkan keluh kesah selama empat tahun perkuliahan.
14. Teman-teman Keluarga Besar Mahasiswa Sipil FT-UB dan teman-teman mahasiswa angkatan 2014 Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu penelitian dan memberikan semangat serta doa.
15. Kepada keluarga Persekutuan Mahasiswa Kristen Yehezkiel yang telah membimbing penulis penulis dari awal masuk perkuliahan sampai saat ini untuk selalu berdoa dan mendukung satu sama lain.
16. Pak Nan yang sudah membantu dalam menyediakan dan menyiapkan kebutuhan bekisting dan bamboo dalam penelitian ini.
17. Dan semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian dan penulisan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 23 Juli 2018

Rinaldi S

## DAFTAR ISI

|   | Halaman     |
|---|-------------|
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>   | <b>i</b>    |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>   | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>   | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>  | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>  | <b>x</b>    |
| <b>RINGKASAN .....</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1           |
| 1.2 Identifikasi Masalah .....  | 2           |
| 1.3 Rumusan Masalah .....   | 2           |
| 1.4 Batasan Masalah .....   | 2           |
| 1.5 Tujuan .....  | 3           |
| 1.6 Manfaat .....   | 4           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>  | <b>5</b>    |
| 2.1 Beton .....   | 5           |
| 2.1.1 Beton Ringan .....  | 5           |
| 2.1.2 Beton Bertulang .....   | 8           |
| 2.2 Material Penyusun Beton Ringan .....                                    | 10          |
| 2.2.1 Semen .....   | 10          |
| 2.2.2 Agregat Halus Plastik PET ( <i>Polyethylene Terephthalate</i> ) ..... | 13          |
| 2.2.3 Agregat Kasar Batu Bata .....   | 14          |
| 2.2.4 Air .....   | 15          |
| 2.2.4 Abu Sekam Padi .....  | 16          |
| 2.3 Bambu .....   | 17          |
| 2.3.1 Bambu Sebagai Tulangan Beton .....                                    | 17          |
| 2.3.2 Kuat Tarik Bambu .....  | 18          |
| 2.3.3 Sifat Mekanis Bambu Sebagai Tulangan .....                            | 19          |
| 2.4 Kapasitas Geser Pada Balok .....  | 21          |



|  |           |
|--|-----------|
| 2.5 Retak .....  | 21        |
| 2.5.1 Pola Retak Balok.....  | 22        |
| 2.6 Penelitian Sebelumnya Yang Berkaitan Dalam Pembahasan .....    | 24        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>                          | <b>27</b> |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....                              | 27        |
| 3.2 Bahan Penelitian .....   | 27        |
| 3.2.1 <i>Pozzolan Portland Cement</i> .....                        | 27        |
| 3.2.2 Tulangan Bambu .....   | 27        |
| 3.2.3 Agregat Kasar .....  | 27        |
| 3.2.4 Agregat Halus .....  | 28        |
| 3.2.5 Air .....  | 28        |
| 3.2.6 Abu Sekam Padi.....  | 28        |
| 3.3 Peralatan Penelitian.....                                      | 29        |
| 3.3.1 Saringan .....   | 29        |
| 3.3.2 Timbangan .....  | 29        |
| 3.3.3 Cetakan/Bekisting .....                                      | 29        |
| 3.3.4 Mesin Pengaduk Beton ( <i>Concrete Mixer</i> ) .....         | 30        |
| 3.3.5 Alat Uji Tekan ( <i>Compression Testing Machine</i> ) .....  | 30        |
| 3.3.6 <i>Linear Variable Differential Transformer (LVDT)</i> ..... | 30        |
| 3.3.7 <i>Loading Frame</i> .....                                   | 30        |
| 3.3.8 <i>Hydraulic Jack</i> .....                                  | 30        |
| 3.3.9 Alat Penggiling Plastik .....                                | 30        |
| 3.3.10 Alat Pemadatan .....  | 30        |
| 3.3.11 Alat Bantu Lainnya .....                                    | 30        |
| 3.4 Diagram Alir Pengujian .....                                   | 31        |
| 3.5 Rancangan Penelitian.....                                      | 32        |
| 3.6 Variabel Penelitian.....                                       | 34        |
| 3.7 Prosedur Penelitian .....                                      | 34        |
| 3.7.1 Pengujian Bahan Dasar .....                                  | 34        |
| 3.7.2 Pembuatan Benda Uji .....                                    | 34        |
| 3.7.3 Perawatan Benda Uji.....                                     | 35        |
| 3.7.4 Pengujian Kuat Tekan.....                                    | 35        |
| 3.7.5 Pengujian Kuat Lentur dan Geser .....                        | 36        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.8 Metode Analisis Data.....                                  | 37        |
| 3.8.1 Pengumpulan Data .....                                   | 37        |
| 3.8.2 Pengolahan Data .....                                    | 39        |
| 3.9 Hipotesis Penelitian .....                                 | 39        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                       | <b>41</b> |
| 4.1 Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> ) .....     | 41        |
| 4.2 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji .....                    | 43        |
| 4.3 Pengujian <i>Slump</i> .....                               | 45        |
| 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....                      | 47        |
| 4.5 Berat Volume .....   | 51        |
| 4.6 Analisis Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis .....    | 55        |
| 4.6.1 Pemodelan Benda Uji .....                                | 55        |
| 4.6.2 Kapasitas Geser.....                                     | 55        |
| 4.6.2 Beban Vertikal Maksimum Teoritis.....                    | 56        |
| 4.6.2 Hasil Pengujian Blok Beton Terhadap Beban Vertikal ..... | 58        |
| 4.7 Analisis Lendutan Balok Uji .....                          | 62        |
| 4.7.1 Teoritis .....   | 62        |
| 4.7.2 Aktual .....   | 64        |
| 4.7.3 Perbandingan Aktual dan Teoritis .....                   | 67        |
| 4.8 Pola Retak Balok .....                                     | 69        |
| 4.9 Uji Hipotesis Hasil Pengujian Kuat Geser .....             | 72        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                        | <b>75</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 75        |
| 5.2 Saran .....  | 76        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                    | <b>77</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>   | <b>79</b> |



## DAFTAR TABEL

| No.        | Judul   | Halaman |
|------------|---|---------|
| Tabel 2.1  | Persyaratan Sifat Fisik Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural.....                     | 6       |
| Tabel 2.2  | Beton Ringan Struktural .....   | 7       |
| Tabel 2.3  | Persyaratan susunan besar butir agregat ringan untuk beton ringan struktural                  | 7       |
| Tabel 2.4  | Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia.....                            | 18      |
| Tabel 2.5  | Kuat batas dan tegangan ijin bambu .....  | 19      |
| Tabel 3.1  | Rancangan penelitian dengan variasi komposisi agregat.....                                    | 32      |
| Tabel 3.2  | Tabel hasil uji <i>slump</i> beton ringan .....   | 37      |
| Tabel 3.3  | Tabel hasil uji <i>slump</i> beton normal.....  | 37      |
| Tabel 3.4  | Tabel hasil pengujian kuat tekan beton ringan .....   | 38      |
| Tabel 3.5  | Tabel hasil pengujian kuat tekan beton normal .....   | 38      |
| Tabel 3.6  | Tabel hasil pengujian kuat geser beton ringan.....  | 39      |
| Tabel 4.1  | Perencanaan <i>mix design</i> beton ringan plastik dengan menggunakan perbandingan berat..... | 41      |
| Tabel 4.2  | Perbandingan rasio semen/agregat.....   | 42      |
| Tabel 4.3  | Hasil pengujian <i>slump</i> beton ringan.....  | 46      |
| Tabel 4.4  | Hasil pengujian <i>slump</i> beton normal.....  | 46      |
| Tabel 4.5  | Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Variasi 1.....  | 48      |
| Tabel 4.6  | Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Variasi 2.....  | 49      |
| Tabel 4.7  | Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Variasi 3.....  | 49      |
| Tabel 4.8  | Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal.....  | 50      |
| Tabel 4.9  | Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Berat Isi Silinder Beton Ringan .....                          | 50      |
| Tabel 4.10 | Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Berat Isi Silinder Beton Normal .....                          | 50      |
| Tabel 4.11 | Berat Volume Benda Uji Balok Beton Ringan .....   | 53      |
| Tabel 4.12 | Berat Volume Benda Uji Balok Beton Normal .....   | 53      |
| Tabel 4.13 | Hasil Perhitungan Kapasitas Geser Teoritis .....  | 57      |
| Tabel 4.14 | Hasil Perbandingan antara Beban Maksimum Teoritis dengan Aktual Beton Ringan .....            | 59      |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabel 4.15 | Hasil Perbandingan antara Beban Maksimum Teoritis dengan Aktual Beton Normal ..... | 59 |
| Tabel 4.16 | Lendutan Teoritis Balok Dengan Metode <i>Conjugate Beam</i> .....                  | 64 |
| Tabel 4.17 | Lendutan Aktual pada Benda Uji Balok .....   | 67 |
| Tabel 4.18 | Perbandingan Lendutan Teoritis dan Lendutan Aktual .....                           | 67 |
| Tabel 4.19 | Pola Retak dan Beban Maksimum .....  | 69 |
| Tabel 4.20 | Hasil Perhitungan Uji Hipotesis Kuat Geser Beton Ringan .....                      | 73 |
| Tabel 4.21 | Tabel Anova Kuat Geser .....   | 74 |





## DAFTAR GAMBAR

| No.         | Judul   | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Gambar 2.1  | Diagram tegangan regangan .....   | 8       |
| Gambar 2.2  | Kemasan semen yang digunakan dalam penelitian .....                           | 13      |
| Gambar 2.3  | Tipe resin pada produk kemasan.....   | 14      |
| Gambar 2.4  | Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja .....                               | 19      |
| Gambar 2.5  | Perilaku bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air.....                     | 20      |
| Gambar 2.6  | Retak lentur.....   | 23      |
| Gambar 2.7  | Retak geser.....  | 23      |
| Gambar 3.1  | Batu bata yang digunakan dalam penelitian. ....                               | 28      |
| Gambar 3.2  | Limbah plastik yang digunakan dalam penelitian .....                          | 28      |
| Gambar 3.3  | Abu Sekam padi yang digunakan dalam penelitian.....                           | 29      |
| Gambar 3.4  | Diagram alir tahapan penelitian.....  | 31      |
| Gambar 3.5  | Bentuk Benda Uji Kuat Lentur dan Kuat Geser .....                             | 32      |
| Gambar 3.6  | Skema penulangan balok.....   | 33      |
| Gambar 3.7  | Skema pengujian benda uji balok.....  | 36      |
| Gambar 3.8  | Skema pembebanan balok.....   | 37      |
| Gambar 4.1  | Grafik batang perbandingan rasio semen/agregat.....                           | 43      |
| Gambar 4.2  | Tulangan Bambu yang Sudah Dilapisi Cat dan Pasir dan Dibentuk Sengkang.....   | 43      |
| Gambar 4.3  | Penulangan benda uji .....  | 44      |
| Gambar 4.4  | Benda Uji Balok.....  | 44      |
| Gambar 4.5  | Pengujian Slump .....   | 45      |
| Gambar 4.6  | Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton.....                                      | 48      |
| Gambar 4.7  | Grafik Batang Kuat Tekan Rata-Rata Benda Uji Silinder .....                   | 51      |
| Gambar 4.8  | Grafik Batang Berat Isi Rata-Rata Benda uji Silinder .....                    | 51      |
| Gambar 4.9  | Grafik batang berat volume balok beton ringan untuk tiap variasi.....         | 54      |
| Gambar 4.10 | Hasil regresi hubungan berat volume dan perbandingan rasio semen/agregat..... | 54      |
| Gambar 4.11 | Pemodelan Pembebanan Struktur .....   | 58      |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Gambar 4.12 | Grafik batang perbandingan P maksimum teoritis dan aktual beton plastik     | .60 |
| Gambar 4.13 | Grafik batang perbandingan P maksimum teoritis dan aktual beton normal      | 60  |
| Gambar 4.14 | Grafik Hubungan Kuat Lentur Rata-Rata dan Berat Volume Rata-Rata.....       | 61  |
| Gambar 4.15 | Hasil Regresi Hubungan Kuat Geser dan Perbandingan Rasio Semen/Agregat..... | 61  |
| Gambar 4.16 | Grafik beban – lendutan benda uji variasi 1 .....                           | 65  |
| Gambar 4.17 | Grafik beban – lendutan benda uji variasi 2 .....                           | 65  |
| Gambar 4.18 | Grafik beban – lendutan benda uji variasi 3 .....                           | 66  |
| Gambar 4.19 | Grafik Beban – Lendutan Balok Beton Normal .....                            | 66  |
| Gambar 4.20 | Grafik Batang Lendutan Teoritis dan Aktual Beton Plastik .....              | 68  |



**DAFTAR LAMPIRAN**

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Lampiran 1 | Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar .....      | 79  |
| Lampiran 2 | Berat Isi Agregat Kasar.....                        | 79  |
| Lampiran 3 | Kadar Air Agregat Kasar .....                       | 79  |
| Lampiran 4 | Perancangan Campuran Beton .....                    | 80  |
| Lampiran 5 | Dokumentasi Pekerjaan Pembuatan Beton Plastik ..... | 81  |
| Lampiran 6 | Dokumentasi Pengujian Kuat Geser .....              | 84  |
| Lampiran 7 | Data Pengujian Benda Uji.....                       | 88  |
| Lampiran 8 | Tabel F uji Hipotesis Menggunakan Anova .....       | 105 |



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*





## RINGKASAN

**Rinaldi S**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli, 2018, *Pengaruh Komposisi Agregat Kasar Limbah Batu Bata dan Agregat Halus Limbah Plastik Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang Bambu*. Dosen pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS dan Dr. Eng Ming Narto W., ST, MT, M.Sc.

Perkembangan ilmu dalam bidang konstruksi di Indonesia pada masa sekarang sangat pesat, diantaranya dalam pembangunan perumahan, perkantoran, gedung bertingkat, rumah sakit, jembatan dan infrastruktur lainnya. Dalam konstruksi, beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Beton terbentuk dari campuran semen, pasir, kerikil, dan air. Salah satu teknologi yang sedang berkembang dalam konstruksi bangunan adalah beton ringan. Pada penelitian ini, material yang akan digunakan untuk campuran beton ringan adalah plastik sebagai agregat halus dan batu bata pecah sebagai agregat kasar. Material tersebut tergolong ringan sehingga dapat menghasilkan beton ringan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi semen, agregat kasar batu bata dan agregat halus limbah plastik terhadap kuat geser balok bertulang bambu. Variasi komposisi pada penelitian ini yaitu 1,8:0,66:1,3; 2:0,66:1,3; dan 2:0,7:1,1 dengan perbandingan semen : plastik : batu bata dalam satuan berat. Semen yang digunakan adalah *portland pozzolan cement* (PPC) dengan FAS sebesar 0,7. Pada penelitian ini juga digunakan bahan tambah abu sekam padi sebanyak 20% dari jumlah semen. Sampel yang digunakan adalah balok berukuran 15 x 20 x 60 cm sebanyak 9 buah. Pengujian balok dilakukan pada umur 28 hari.

Berdasarkan hasil pengujian, kuat geser paling besar terdapat pada komposisi 1,8:0,66:1,3 yang menghasilkan kekuatan sebesar 2582,33 kg. Rasio semen pada penelitian ini tidak berpengaruh besar terhadap kekuatan beton. Berat volume yang didapatkan berkisar antara 1610 – 1650 kg/m<sup>3</sup> untuk benda uji balok. Jika ditinjau dari berat volume, benda uji sudah memenuhi syarat beton ringan, namun hasil kekuatan yang dihasilkan belum optimum.

**Kata Kunci :** komposisi, rasio, semen, agregat kuat geser

## SUMMARY

**Rinaldi S**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, July 2018, *The Effect of Cement, Crushed Bricks as Coarse Aggregate and Plastic Waste as Fine Aggregate Composition against shear strength of lightweight concrete*. Supervisor: Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS and Dr. Eng Ming Narto W., ST, MT, M.Sc.

The development and improvement of concrete technology is very rapid in Indonesia. New innovations in materials are continuously done to get stronger concrete, more durable, more economical and has light weight. One of the ways to make lightweight concrete is to replace coarse aggregate or fine aggregate that have lighter density. In this study, the materials used for lightweight concrete mixtures are plastic as fine aggregate that will cut into small pieces and coarse aggregate of crushed bricks. Both materials are lightweight materials, so it can produce lightweight concrete.

The purpose of this study is to know the composition of cement, coarse aggregate of crushed bricks and fine aggregate of plastic waste against tensile strength and flexural strength, and specific gravity of concrete. The variations in this study were 1.8: 0.66: 1.3; 2: 0.66: 1.3; and 2: 0.7: 1.1 with the ratio of cement:bricks:plastics in kilograms unit. In each variations were given the added ingredients of ash husk get as much as 20% of the amount of cement. Cement that used, is portland pozzolan cement (PPC) with FAS of 0.7. Tensile strength testing and flexural strength testing were conducted after 28 days. Samples used in the experiment was beam sized 15 x 20 x 60 cm.

Based on the test results, the shear strength was found in the composition of 1.8: 0.66: 1.3 produces strength of 2582,33 kg. the cement ratio in this study did not affect the magnitude of concrete strength. Density obtained ranges from 1610 - 1650 kg/m<sup>3</sup> for beam samples. The density of the test specimen has already fulfilled the lightweight concrete requirements, however the shear strength has not been optimal.

**Keyword** : composition, ratio, cement, aggregate, shear strenght

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu dalam bidang konstruksi di Indonesia pada masa sekarang sangat pesat, diantaranya dalam pembangunan perumahan, perkantoran, Gedung bertingkat, rumah sakit, jembatan dan infrastruktur lainnya. Dimana hal tersebut sangat berpengaruh besar terhadap pertumbuhan perekonomian di Indonesia. Hal ini sangat perlu diperhatikan dalam perkembangan pembangunan khususnya pada teknologi bahan dalam bidang konstruksi untuk mendapatkan inovasi – inovasi baru yang lebih ekonomis dan efektif dalam pembangunan di Indonesia.

Dalam konstruksi, beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Beton terbentuk dari campuran semen, pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), dan air. Salah satu teknologi yang sedang berkembang dalam konstruksi bangunan tahan gempa adalah teknologi bahan beton ringan. Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (density) lebih ringan daripada beton pada umumnya yang memiliki berat jenis berkisar antara  $600 \text{ kg/m}^3$  –  $1600 \text{ kg/m}^3$ . Karena itu keunggulan beton ringan utamanya ada pada berat jenis yang lebih ringan. Oleh karena itu, inovasi teknologi beton selalu dituntut guna menjawab tantangan akan kebutuhan, diantaranya bersifat ramah lingkungan.

Pada penelitian ini, limbah botol plastik dan pipa PVC jenis PET digunakan sebagai agregat halus, dan batu bata sebagai agregat kasar. Penggunaan plastik yang sangat banyak dalam kehidupan sehari – hari merupakan permasalahan utama banyaknya limbah plastik di Indonesia. Plastik memiliki sifat yang sulit terurai dan membutuhkan waktu yang cukup lama agar dapat terurai secara sempurna. Sebagian besar masyarakat Indonesia mengurai limbah plastik tersebut dengan cara membakarnya, namun dapat menyebabkan polusi yang cukup berbahaya. Oleh sebab itu, pada penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat yang besar bagi masyarakat khususnya di Indonesia dalam menghasilkan beton yang mempunyai mutu yang tinggi serta ramah lingkungan.

Perkembangan beton bertulang saat ini telah banyak dijumpai pada beton bertulang bambu sebagai pengganti tulangan baja yang harganya relatif lebih murah. Kekuatan

tegangan tarik ultimit dari bambu sekitar 1000 – 2000 kg/cm<sup>2</sup> dimana nilai tersebut merupakan ½ sampai ¼ dari tegangan Tarik ultimit besi (Surjokusumo dan Nugroho, 1993), sehingga material bambu dapat menjadi potensi sebagai material pengganti besi dan dapat mengurangi biaya pembuatan beton bertulang dan juga ramah lingkungan karena tidak harus dibuat dipabrik dan membutuhkan energi yang cukup besar.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat geser pada balok bertulang bambu dengan menggunakan plastik sebagai material pengganti agregat halus dan batu bata sebagai pengganti agregat kasar. Dimana plastik merupakan material yang tidak menyerap air dan batu bata yang menyerap air sangat banyak dalam proses pembuatan beton. Parameter yang digunakan untuk mengetahui hal tersebut pada penelitian ini yaitu variasi komposisi semen dan agregat.

## 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan pernyataan yang telah disampaikan diatas maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan rumusan masalahnya adalah :

1. Bagaimana pengaruh komposisi material plastik sebagai pengganti agregat halus dan batu bata sebagai pengganti agregat kasar terhadap mutu beton dan berat volume beton?
2. Bagaimanakah hasil kuat geser beton ringan balok bertulang bambu dengan komposisi yang telah ditetapkan jika dibandingkan dengan beton normal ?
3. Bagaimana Kekuatan dan pola retak pada balok bertulangan bambu dengan agregat batu bata dan agregat plastik jika dibandingkan dengan beton normal ?

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini nantinya sesuai dengan tujuan dan tidak melebar, perlu adanya batasan pada penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian dan pengujian akan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu balok berukuran 15 cm x 20 cm x 60 cm.



3. Dalam penelitian ini agregat halus yang digunakan limbah plastik jenis plastik PET (*Polyethylene terephthalate*).
4. Plastik digunakan sebagai pengganti agregat halus dan bata sebagai pengganti agregat kasar.
5. Material yang digunakan pada tulangan longitudinal dan transversal pada balok adalah tulangan bambu.
6. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan longitudinal pada balok adalah jenis bambu petung.
7. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan transversal pada balok adalah jenis bambu apus.
8. Tulangan longitudinal bambu pada balok memiliki dimensi 1 cm x 1cm.
9. Tulangan transversal bambu pada balok memiliki dimensi 0,5 cm x 0,5 cm.
10. Pengujian benda uji balok dimulai pada umur 28 hari.
11. Karakteristik pengujian kekuatan balok bertulang bambu yang akan diamati dalam penelitian ini adalah pengujian kuat geser balok.

### 1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi material plastik sebagai pengganti agregat halus dan batu bata sebagai pengganti agregat kasar terhadap mutu beton dan berat volume beton
2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi semen dan agregat batu bata serta agregat plastik terhadap kuat geser beton bertulang bambu
3. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan pola retak yang terjadi antara balok bertulangan bambu agregat batu bata dan agregat plastik dengan beton normal bertulangan bambu terhadap beban yang diberikan secara vertikal

## 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis:

- Mengetahui pengaruh komposisi material plastic sebagai pengganti agregat halus dan batu bata sebagai pengganti agregat kasar terhadap mutu beton dan berat volume beton.
- Mengetahui kuat geser maksimum balok bertulang bambu dengan plastik sebagai pengganti agregat halus dan batu bata sebagai pengganti agregat kasar dengan variasi gradasi dan jarak Sengkang bambu yang berbeda.

2. Bagi pembaca:

- Dapat dijadikan acuan atau referensi mengenai plastik sebagai pengganti agregat halus dan batu bata sebagai pengganti agregat kasar, serta dapat bermanfaat dan menjadi solusi alternatif dalam pemilihan material beton ringan bertulang bambu yang ramah lingkungan dalam perkembangan di bidang konstruksi.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton

Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari beberapa kombinasi material, yang terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan atau tanpa bahan tambahan lainnya (*admixture*) dengan perbandingan tertentu. Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tariknya bervariasi dari 8% sampai 14% dari kuat tekannya (Nawy, Edward G, 2001). Oleh sebab itu diperlukan tulangan untuk menahan gaya tarik yang disebabkan beban – beban yang bekerja.

Di lapangan, kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : faktor air semen, mix desain, cara pembuatan, dan cara perawatannya. Oleh karena itu diperlukan quality control yang baik. Hal ini dapat dilakukn oleh perencana secara langsung maupun oleh petugas lapangan yang mengerti teknologi beton dengan baik, sehingga diperoleh kekuatan beton yang diinginkan untuk konstruksi yang diperlukan.

Klasifikasi beton berdasarkan volumenya menurut SNI 03 – 2847 – 2002 yaitu :

1. Beton normal : beton yang mempunyai berat satuan  $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$ .
2. Beton ringan : beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ .
3. Beton berat : beton yang mempunyai berat satuan lebih dari  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

##### 2.1.1 Beton Ringan

Beton Ringan Beton ringan adalah beton yang agregatnya lebih ringan daripada agregat beton normal. Nawy (1998) mengatakan bahwa beton ringan adalah beton yang mempunyai kekuatan tekan pada umur 28 hari lebih dari 1,38 MPa dan berat volume kurang dari  $1843 \text{ kg/m}^3$ . Secara garis besar, Tjokrodinuljo (1996) membagi penggunaan beton ringan menjadi tiga, yaitu :

1. Untuk nonstruktur dengan berat jenis antara  $240 \text{ kg/m}^3$  sampai  $800 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan antara 0,35 MPa sampai 7 MPa yang umumnya digunakan untuk dinding pemisah atau dinding isolasi



2. Untuk struktur ringan dengan berat jenis antara 800 kg/m<sup>3</sup> sampai 1400 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan antara 7 MPa sampai 17 MPa yang umumnya digunakan seperti untuk dinding yang juga memikul beban.
3. Untuk struktur dengan berat jenis antara 1400 kg/m<sup>3</sup> sampai 1800 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan lebih dari 17 MPa yang dapat digunakan sebagaimana beton normal.

Tabel 2.1 Persyaratan Sifat Fisik Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural

| No   | Sifat fisis  | Persyaratan |
|--|--|-------------|
| 1  | Berat Jenis  | 1,0-1,8     |
| 2  | Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam   | 20          |
| 3  | Berat isi maksimum:  |             |
|  | - gembur kering (kg/cm)  | 1120        |
|  | - agregat halus  | 880         |
|  | - agregat kasar  | 1040        |
|  | - campuran agregat kasar dan halus   | 60          |
| 4  | Nilai presentase volume padat (%)  | 9-14        |
| 5  | Nilai 10% kehalusan (ton)  |             |
| 6  | Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)                          | 5           |
| 7  | Kadar bahan yang mentah (clay dump) (%)  | <1          |
| 8  | Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16-18 jam, bagian yang larut maksimum (%) | 12          |
| <b>CATATAN :</b>   |  |             |
| Nilai keremukan ditentukan sebagai hasil bagi banyaknya fraksi yang lolos pada ayakan 2,4 mm dengan banyaknya bahan agregat kering oven semula dikalikan 100 % |  |             |

(Sumber : SNI 03 – 2461 – 2008)

Tabel 2.2 Beton Ringan Struktural

| Berat isi kering udara 28 hari, maksimum (kg/cm <sup>3</sup> ) | Kuat tarik belah (tidak langsung) rata-rata (MPa) | Kuat tekan rata-rata, 28 hari, minimum (MPa) |
|--|---|--|
| Semua agregat ringan   |   |  |
| 1760   | 2.2   | 28   |
| 1680   | 2.1   | 21   |
| 1600   | 2   | 17   |
| Agregat ringan dan pasir                                       |   |  |
| 1840   | 2.3   | 28   |
| 1760   | 2.1   | 21   |
| 1680   | 2   | 17   |

CATATAN 1 Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata tiga buah benda uji sedangkan kuat tarik belah diambil rata-rata dari enam benda uji,

CATATAN 2 Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berkait dapat dengan penambahan atau interpolasi,

CATATAN 3 Bahan-bahan yang tidak memenuhi persyaratan kuat tarik rata-rata minimum dapat digunakan bila rancangannya dimodifikasi untuk mengimbangi nilai yang lebih rendah,

CATATAN 4 1 MPa  $\approx$  10 kg/cm<sup>2</sup>

(Sumber : SNI 03 – 2461 – 2008)

Tabel 2.3 Persyaratan Susunan Besar Butir Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural

| Ukuran                                | Prosentase yang lulus angka (% berat) |        |        |        |        |       |       |       |      |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|
|                                       | 25                                    | 19     | 12,5   | 9,5    | 4,75   | 2,36  | 1,18  | 0,6   | 0,3  |
| Agregat halus:<br>(4,75 - 0) mm       | -                                     | -      | -      | 100    | 85-100 | -     | 40-80 | 10-35 | 5-25 |
| Agregat kasar:                        |                                       |        |        |        |        |       |       |       |      |
| (25,0 - 4,75) mm                      | 95-100                                | -      | 25-60  | -      | 0-10   | -     | -     | -     | -    |
| (19,0 - 4,75) mm                      | 100                                   | 90-100 | -      | 10-50  | 0-15   | -     | -     | -     | -    |
| (12,5 - 4,75) mm                      | -                                     | 100    | 90-100 | 40-80  | 0-20   | 0-10  | -     | -     | -    |
| (9,5-2,36) mm                         | -                                     | -      | 100    | 80-100 | 5-40   | 0-20  | 0-10  | -     | -    |
| Kombinasi agregat<br>halus dan kasar: |                                       |        |        |        |        |       |       |       |      |
| (12,5 - 8,0) mm                       | -                                     | 100    | 95-100 | -      | 50-80  | -     | -     | 5-20  | 2-15 |
| (9,5 - 8,0) mm                        | -                                     | -      | 100    | 90-100 | 65-90  | 35-65 | -     | 10-25 | 5-15 |

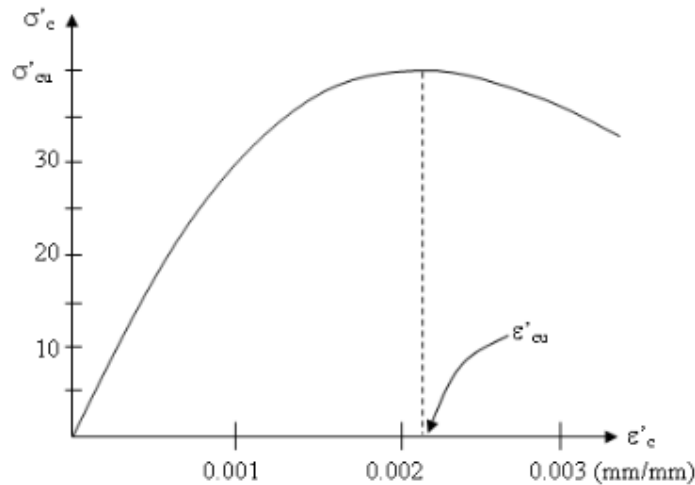
(Sumber : SNI 03 – 2461 – 2008)

### 2.1.2 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama – sama dalam menahan gaya yang bekerja (SNI 03 – 2847 – 2002).

Keunggulan sifat dari masing–masing bahan dimanfaatkan untuk menahan beban secara bersama–sama atau dikatakan terjadi aksi komposit yaitu dengan kekuatan tekannya dan baja dengan kekuatan tariknya (Ridwan, 2012).

Beton sangat mampu menahan tegangan tekan tetapi hamper tudak dapat menahan tegangan tarik (kuat tarik beton berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya). Hasil pengujian tekan benda uji beton diperlihatkan pada gambar di bawah. Nilai–nilai  $\sigma'_c$  dan  $\epsilon'_c$  didapat dari hasil pengujian tekan tersebut. Tegangan tekan maksimum  $\sigma'_c$  terjadi saat regangan beton  $\epsilon'_c$  mencapai  $\pm 0,002$ .



Gambar 2.1 Diagram tegangan regangan

Sumber : Buku ajar struktur beton bertulang Ridwan (2012)

Terdapat beberapa kelebihan dari beton bertulang antara lain :

- a) Kuat tekan beton bertulang relatif lebih tinggi dari bahan konstruksi lainnya.
- b) Memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api dan air.
- c) Struktur beton bertulang sangat kokoh dibandingkan dengan yang lain.
- d) Beton bertulang memiliki biaya pemeliharaan yang rendah dibandingkan dengan material yang lain.
- e) Beton bertulang lebih awet dan tahan lama dibandingkan dengan bahan lain.
- f) Beton bertulang merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pembangunan pondasi tapak, dinding basement, dan tiang tumpuan jembatan.
- g) Beton bertulang juga bias dicetak dengan beragam, seperti bentuk palt, balok, kolom yang sederhana, bahkan bentuk yang rumit.
- h) Terbuat dari bahan – bahan local yang murah seperti kerikil, pasir, dan air, dan relative hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja.
- i) Pembuatan dan instalasi beton konstruksi bertulang lebih mudah dibandingkan dengan struktur baja.

Selain itu, beton bertulang juga memiliki kekurangan diantaranya adalah :

- a) Waktu pengerjaan beton bertulang lebih lama.
- b) Beton memiliki kekuatan tarik yang sangat rendah, sehingga diperlukan penggunaan tulangan tarik.
- c) Beton bertulang memerlukan bekisting penahan pada saat pengecoran agar tetap pada tempatnya sampai beton tersebut mengeras, dan biaya pembuatan bekisting yang relatif mahal.
- d) Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukannya. Selain itu, penuangan dan perawatan beton tidak bisa ditangani dengan ketepatan atau ketelitian yang maksimal, berbeda dengan proses produksi material lain.

## **2.2 Material Penyusun Beton Ringan**

Bahan dasar beton terdiri dari semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Pada dasarnya, bahan dasar beton harus bisa mengisi satu sama lain agar beton dapat menjadi satu kesatuan. Agregat merupakan kandungan terbesar beton yaitu 50% - 70%. Sehingga untuk mengurangi berat beton, bisa dilakukan dengan menggunakan agregat yang ringan atau menambahkan bahan tambahan campuran lainnya. Karakteristik sesungguhnya dari agregat ringan adalah mempunyai porositas yang cukup tinggi, sehingga berat jenisnya menjadi ringan. Bahan tambahan campuran adalah bahan kimia atau mineral pembantu yang ditambahkan pada saat pencampuran dengan tujuan- tujuan tertentu. (Suseno, 2010).

### **2.2.1 Semen**

Semen adalah bahan perekat hidrolis-anorganik berbentuk powder halus yang mempunyai sifat pengikatan kimia (adhesif & kohesif) dan dapat membentuk senyawa baru (pasta hingga padatan), bila direaksikan dengan dalam waktu tertentu. Semen yang sering digunakan dalam dunia konstruksi yaitu semen Portland. Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat – silikat kalsium yang bersifat hidrolis, dan gips sebagai bahan pembantu.



Senyawa – senyawa yang menyebabkan terjadinya proses pengikatan dalam pengerasan semen antara lain :

1. Trikalsium Aluminat ( $C_3A$ )
2. Trikalsium Silikat ( $C_3S$ )
3. Dikalsium Silikat ( $C_2S$ )
4. Tetrakalsium Alaminoferrite ( $C_4AF$ )

Ada beberapa klasifikasi jenis atau type semen yang digunakan untuk konstruksi beton :

1. Ordinary Portland Semen (OPC)

Adalah semen hidrolis yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum atau bangunan yang tidak membutuhkan persyaratan khusus. Semen tipe ini memiliki kadar silika yang terbesar diantara tipe PPC dan PCC.

2. Semen Portland Pozzoland (SNI 15-0502-2004)

Suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabunganantara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland pozzolan. Pozzolan merupakan bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen.

3. Semen Portland Komposit (PCC) (SNI 15-7064-2004)

Bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik. Atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (blast furnace slag). Senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari masa semen portland komposit

Semen mempunyai sifat-sifat, diantaranya :

1. Kehalusan Butir

Pada umumnya semen memiliki kehalusan sedemikian rupa sehingga kurang lebih 80 % dari butirannya dapat menembus ayakan 44 mikron.

2. Berat Jenis dan Berat Isi

Berat jenis semen adalah 3.12 dan 3.16. Berat isi atau berat volume semen adalah sekitar 1250 kg/m<sup>3</sup>. Berat isi semen diperlukan untuk menentukan perbandingan volume pada mix desain.

3. Waktu Pengerasan Semen

Waktu pengerasan semen dilakukan dengan menentukan waktu pengikatan awal (initial setting) dan waktu pengikatan akhir (final setting). Namun yang paling penting adalah waktu pengikatan awal, yaitu saat semen mulai terkena air hingga terjadi pengikatan (pengerasan). Untuk mengukur waktu pengikatan biasanya digunakan alat Vicat. Untuk jenis semen Portland, waktu pengikatan awal tidak boleh kurang dari 60 menit sejak semen terkena air.

4. Kekekalan Bentuk

Kekekalan bentuk adalah sifat dari bubur semen yang telah mengeras, dimana bila adukan semen dibuat suatu bentuk tertentu, bentuk itu tidak berubah. Apabila benda menunjukkan adanya cacat (retak, melengkung, membesar, atau menyusut) berarti semen tersebut tidak baik atau tidak memiliki sifat tetap bentuk.

5. Kekuatan Semen

Kekuatan mekanis dari semen yang mengeras merupakan gambaran mengenai daya rekatnya sebagai bahan perekat (pengikat). Pada umumnya pengukuran kekuatan daya rekat ini dilakukan dengan melakukan kuat lentur, kuat tarik, atau kuat tekan (desak) dari campuran semen dan pasir.

6. Pengaruh Suhu

Proses pengerasan semen sangat dipengaruhi oleh suhu udara di sekitarnya. Pada suhu kurang dari 150 C, pengerasan semen akan berjalan sangat lambat. Semakin tinggi suhu udara di sekitarnya, maka semakin cepat semen mengeras.

Bahan utama yang membentuk semen portland adalah :

1. Batu kapur yang mengandung senyawa  $\text{CaO}$  yang berasal dari kapur, *lime*
2. Lempung yang mengandung senyawa-senyawa  $\text{SiO}_2$  dari silica,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dari alumina, serta  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari oksidasi besi (Nurlina, 2011, p.3).

Penambahan air pada mineral-mineral dalam semen akan menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16 , dan berat volume satu sak semen adalah  $94 \text{ lb/ft}^3$  (Nawy, 1998, p.9). Pada penelitian ini akan digunakan semen *PPC (Portland Pozzoland Cement)*.



Gambar 2.2 Kemasan semen yang digunakan dalam penelitian















### 2.2.2 Agregat Halus Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Plastik adalah suatu bentuk produk polimerisasi sintetik yang terbentuk atas dasar kondensasi organik dengan campuran zat untuk kemudian mampu menghasilkan nilai yang lebih ekonomis (Ningsih, 2010). Hampir semua plastik sulit untuk diuraikan, plastik yang memiliki ikatan karbon rantai panjang dan memiliki tingkat kestabilan yang tinggi, sama sekali tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme (Wardani, 2009).

Pada penelitian ini digunakan jenis plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang diolah menjadi agregat halus melalui proses pembersihan, pemotongan dan penghancuran (penggilingan). Plastik PET yang digunakan biasanya pada kemasan botol minuman dan

pipa paralon. Limbah botol plastik tersebut digunakan sebagai substitusi (pengganti) pasir sebagai bahan agregat halus yang biasanya digunakan pada campuran beton.

ASTM D7611 membuat simbol segitiga yang didalamnya terdapat angka 1 – 7 yang menetapkan tipe resin yang digunakan pada produk kemasan.

| Resin                        | Resin Identification Code-Option A  | Resin Identification Code-Option B   |
|------------------------------|---|--|
| Poly(ethylene terephthalate) | <br>1<br>PETE    | <br>01<br>PET   |
| High density polyethylene    | <br>2<br>HDPE    | <br>02<br>PE-HE |
| Poly(vinyl chloride)         | <br>3<br>V       | <br>03<br>PVC   |
| Low density polyethylene     | <br>4<br>LDPE    | <br>04<br>PE-LD |
| Polypropylene                | <br>5<br>PP     | <br>05<br>PP   |
| Polystyrene                  | <br>6<br>PS    | <br>06<br>PS  |
| Other resins                 | <br>7<br>OTHER | <br>07<br>0   |

Gambar 2.3 Tipe resin pada produk kemasan

Sumber: (ASTM D7611-13)

### 2.2.3 Agregat Kasar Batu Bata

Batu bata menurut SNI 15 – 2094 – 1991 merupakan suatu unsur bangunan yang di peruntukkan pembuatan konstruksi bangunan dan yang dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air.

Beberapa sifat batu bata yang merupakan ciri khas sebagai bahan bangunan, yaitu :

1. Merupakan material yang ringan.
2. Mudah menyerap air dan dapat menyimpan dalam waktu yang lama.

3. Mempunyai warna yang alami
4. Mudah korosi, terutama oleh pengaruh garam dapur.
5. Hancurnya bata dapat dipakai untuk semen merah, sebagai campuran bahan perekat.

Pada penelitian ini digunakan batu bata merah yang diolah menjadi agregat kasar dengan cara batu bata dihancurkan hingga membentuk batuan – batuan kecil. Batu bata ini digunakan sebagai substitusi (pengganti) kerikil sebagai agregat kasar yang biasanya digunakan pada campuran beton. Faktor penting yang mempengaruhi ikatan agregat dengan pasta semen adalah porositas dan absorpsi. Porositas adalah ukuran ruang kosong dalam suatu material. Absorpsi adalah banyaknya air yang terdapat pada permukaan kering jenuh (Kasegic, 2008).

#### 2.2.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya paling murah. Dalam pembuatan beton air diperlukan untuk :

- a) Bereaksi dengan semen Portland
- b) Menjadi bahan pelumas antara butir – butir agregat, agar dapat mudah dikerjakan (diaduk, dituang, dan dipadatkan).

Untuk bereaksi dengan semen Portland, air yang diperlukan hanya sekitar 25 – 30 persen saja dari berat semen, namun dalam kenyataannya jika nilai factor air semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai faktor air semen lebih dari 0,40 (Tjokrodinuljo, 2007).

Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (Standar SK SNI S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A).

- a) Air harus bersih
- b) Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual. Benda – benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter.
- c) Tidak mengandung garam – garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.



- d) Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang kandungan khlorida tidak boleh lebih dari 0,005 gram/liter.
- e) Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai  $\text{SO}_3$ ) lebih dari 1 gram/liter.

Air yang digunakan sebaiknya air tawar bukan air laut /air asin karena air asin sendiri mempunyai kadar garam yang tinggi dan dapat membuat tulangan pada beton bertulang berkarat.

### 2.2.5 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan limbah dari hasil penggilingan padi setelah digiling. Sekam padi biasanya dibakar dibakar disekitar penggilingan padi dan menghasilkan abu sekam padi yang biasanya digiunakan untuk pupuk tanaman dan lain – lain. Berdasarkan data BPS Propinsi Riau tahun 2000 menyebutkan bahwa dari hasil pengolahan satu ton padi dapat menghasilkan sekitar 200 kg sekam dan 15% berat abu sekam dapat diperoleh dari total pembakaran sekam padi.

Abu sekam padi merupakan material yang bersifat pozzolanic dalam arti kandungan material terbesarnya adalah silica. Dari hasil pengujian abu sekam padi di laboratorium Dinas Pertambangan dan Energi Palembang didapat hasil kandungan senyawa kimia yang terdapat didalam abu sekam padi ialah :

$\text{SiO}_2$  : 89,64 %

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  : 0,06 %

$\text{Al}_2\text{O}_3$  : 0,73 %

$\text{CaO}$  : 3,56 %

Dilihat dari kandungan senyawa diatas maka abu sekam padi dapat digunakan sebagai pozzollan karena mengandung  $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$  lebih dari 70 % sesuai dengan mutu pozzolan yang diisyaratkan (Dharma Putra, 2006).

### 2.3 Bambu

Bambu adalah tanaman jenis rumput – rumputan dengan rongga dan ruas di batangnya. Bamboo merupakan salah satu tanaman dengan pertumbuhan paling cepat. Bambou dapat tumbuh 100 cm (39 in) dalam sehari, pertumbuhan bambu sangat

ditentukan dari kondisi tanah, iklim, dan jenis spesies. Ada banyak jenis bambu, tetapi dari ratusan jenis bambu, dalam buku (frick, 2004) hanya empat macam saja yang dianggap penting sebagai jenis bambu dan yang umum dipasarkan di Indonesia, yaitu bamboo tali, bambu petung, bambu duri, dan bambu wulung. Bambu juga dimanfaatkan sebagai tulangan pengganti baja yang lebih ramah lingkungan, selain murah bambu juga memiliki kekuatan tarik yang cukup baik.

### **2.3.1 Bambu Sebagai Tulangan Beton**

Bambu sendiri mempunyai ketahanan terhadap cuaca dan mempunyai kekuatan yang cukup tinggi yang kuat tarikannya bisa sejajar dengan kuat tarik baja. Bambu cukup baik dalam memikul momen lentur dengan ditambah sifat bambu yang elastis struktur bambu mempunyai ketahanan yang tinggi baik terhadap gempa maupun angin. Namun pada dasarnya bambu berbeda dengan baja, bambu mempunyai sifat tidak awet dan memiliki jangka waktu terbatas. Beberapa penelitian menjadikan bambu sebagai alternatif dalam bidang konstruksi, yakni digunakan sebagai tulangan beton. kuat tarik bambu yang tinggi, menjadikan Bambu sangat baik untuk dikombinasikan beton yang memiliki kuat tekan tinggi.

Terdapat banyak kelebihan bambu jika digunakan sebagai tulangan pada beton, diantaranya ;

1. Tulangan bambu jauh lebih murah apabila dibandingkan dengan baja
2. Bambu yang memiliki pertumbuhan sangat cepat
3. Material yang memiliki kuat tarik tinggi
4. Bambu dapat diperoleh dengan mudah
5. Bambu merupakan material konstruksi yang ringan

Disisi lain, bambu juga memiliki kelemahan jika digunakan sebagai tulangan pada beton diantaranya;

1. Mudah menyerap air
2. Mudah terbakar
3. Daya lekat yang kurang baik dengan beton

### 2.3.2 Kuat Tarik Bambu

Bambu dapat digunakan sebagai pengganti tulangan baja kerana mempunyai kekuatan tarik yang tinggi mendekati baja struktur (Morisco, 1999). Menurut Jansen (1980) faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah sebagai berikut :

1. Kandungan air, semakin sedikit kandungan air yang terdapat pada bambu maka kuat tarik bambu semakin kuat.
2. Ada tidaknya nodia pada bambu. Pada batang bambu yang bernodia atau beruas maka bambu itu mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan bambu yang tidak terdapat nodia atau ruas.

Morisco (1999) juga telah melakukan pengujian kuat tarik dengan empat jenis yaitu bambu ori (*bambusa bambos becke*), bambu Petung (*dendracalamus asper schult*), bambu wulung (*gigantochloa vercillata munro*) dan bambu tutul (*bambusa vulgaris schrad*), dimana di dalam pengujian ini bambu yang digunakan adalah bambu dengan nodia dan juga tanpa nodia. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4. Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia

| Jenis Bambu | Tegangan Tarik (Mpa) |              |
|-------------|----------------------|--------------|
|             | Tanpa Nodia          | Dengan Nodia |
| Ori         | 291                  | 128          |
| Petung      | 190                  | 116          |
| Wulung      | 166                  | 147          |
| Tutul       | 216                  | 74           |
| Apus        | 151                  | 55           |

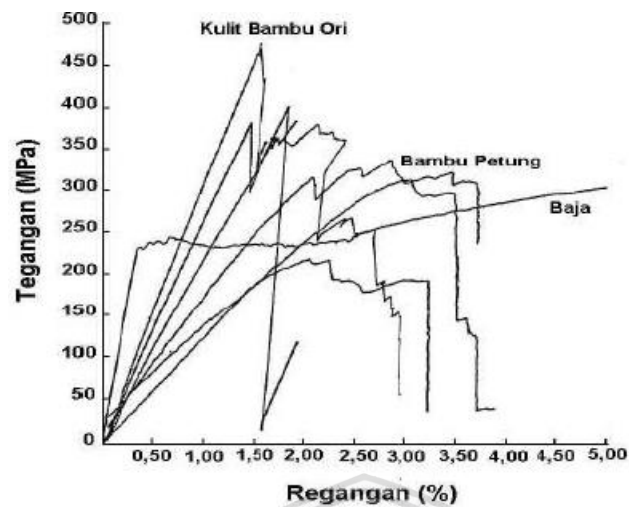
Sumber: Morisco (1999)

Tabel 2.5. Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu

| Macam Tegangan | Kuat Batas (kg/cm <sup>2</sup> ) | Tegangan Ijin (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Tarik          | 981 - 3920                       | 294,2                               |
| Lentur         | 686 - 2940                       | 98,07                               |
| Tekan          | 245 - 981                        | 78,45                               |
| E Tarik        | 98070 - 294200                   | 196,1 x 10 <sup>3</sup>             |

Sumber: Morisco (1999)

Berikut diagram tegangan – regangan bambu :



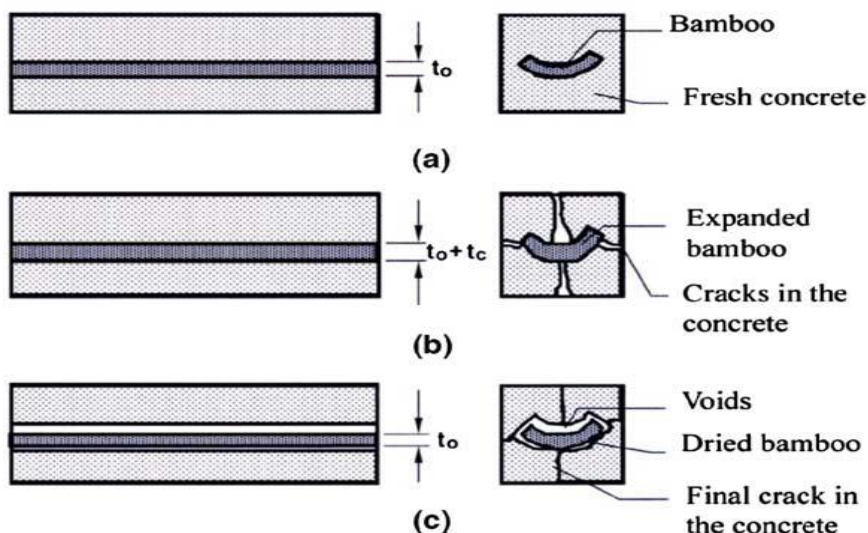
Gambar 2.4 Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

Sumber : Morisco (1999)

Dari Gambar 2.2 tegangan-regangan bambu dan baja, dapat dilihat bahwa bambu Ori memiliki kekuatan yang cukup tinggi yaitu hampir dua kali tegangan leleh baja. Selain bambu ori, kuat tarik rata-rata dari bambu Petung juga lebih besar dari tegangan leleh baja.

### 2.3.3 Sifat mekanis bambu sebagai tulangan

Penelitian terkait bambu sebagai pengganti tulangan didalam beton bertulang telah dilakukan sejak tahun 1979 di Brazil dan Puerto rico, Ghavami (2005). Bambu merupakan bahan yang memiliki sifat higroskopis yang berarti memiliki afinitas terhadap air baik dalam bentuk uap maupun cair. Peningkatan kuat lekat atau adhesi antara tulangan dengan beton dapat mencegah terjadinya selip. Bambu akan mengembang ketika pori bambu menyerap air dan saat beton telah mengeras dan menyusut, bambu ikut menyusut dengan tingkat yang lebih besar dari beton. Oleh karena itu, tulangan bambu perlu diberikan perlakuan khusus berupa pemberian lapisan kedap air dan kemudian dilumuri pasir. Sehingga permukaan bambu akan menjadi kasar dan daya lekat bambu terhadap beton menjadi tinggi. Namun ketika bambu digunakan sebagai tulangan, bambu akan memiliki perilaku yang berbeda pada saat proses pengerasan pada beton apabila tidak dilakukan pelapisan kedap air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



- (a) bambu dalam beton segar
- (b) bambu menyerap air dan mengembang pada masa perawatan mortar
- (c) bambu mengerut setelah masa perawatan beton

Gambar 2.5 Perilaku bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air.

Sumber : Khosrow Gavami (2005)

Menurut Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi "Bambu dan beton tidak bisa merekat. Karena ketika mengecor, air diserap dan bambu pun mekar. Sementara pengerjaan akan lebih susah ketika bambu menjadi kering.". Karena itu, cat dan labur pasir dimanfaatkan untuk menutup pori-pori bambu sehingga menjadi kasar dan lengket dengan beton.

## 2.4 Kapasitas Geser pada Balok

Pada perencanaan beton bertulang, biasanya lentur lebih diperhatikan untuk analisis mendapatkan ukuran penampang dan tulangan yang diperlukan untuk menahan momen lentur, untuk memastikan bahwa keruntuhan terjadi didahului dengan tanda-tanda (under reinforced). Balok juga harus direncanakan untuk menahan geser karena biasanya keruntuhan geser tanpa disertai peringatan terlebih dahulu (over reinforced).

Persamaan untuk tegangan geser beton adalah sebagai berikut:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$



Keterangan:

$V_c$  = tegangan geser beton

$f'_c$  = mutu beton (Mpa)

$b$  = lebar penampang (mm)

$d$  = tinggi efektif penampang (mm)

Persamaan untuk tegangan geser tulangan geser adalah sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

Keterangan:

$V_s$  = tegangan lentur tulangan geser

$f_y$  = mutu baja

$d$  = tinggi efektif penampang

$S$  = jarak tulangan geser

Persamaan untuk tegangan geser nominal adalah:

$$V_n = V_c + V_s$$

Keterangan:

$V_n$  = tegangan geser nominal (kg)

$V_c$  = tegangan geser beton (kg)

$V_s$  = tegangan lentur tulangan geser (kg)

## 2.5 Retak

Retak diakibatkan penurunan yang tidak seragam, susut, beban bertukar arah, perbedaan unsur kimia dan perbedaan suhu. Pada kondisi di lapangan, variasi pola retak

berbeda satu dengan lainnya. Hal tersebut dikarenakan perbedaan tegangan tarik yang ditimbulkan oleh beban, momen dan geser. Retak dimulai dari retak permukaan yang tidak dapat terlihat secara kasat mata. Apabila pembebanan diberikan secara terus menerus maka akan mengakibatkan retak rambut yang merambat hingga pada akhirnya terjadi kegagalan atau keruntuhan pada struktur (Restian,2008).

Retak struktural terjadi akibat pembebanan yang mengakibatkan munculnya tegangan lentur, geser dan tarik. Retak struktural terdiri dari, retak lentur yang berupa garis lurus sejajar dengan arah gaya yang bekerja, retak geser lentur berupa retak miring lanjutan dari retak lentur sebelumnya, dan retak geser berupa retak diagonal membentuk sudut 45<sup>o</sup> terhadap gaya yang bekerja pada komponen tersebut.

### 2.5.1 Pola Retak Balok

Untuk balok yang memiliki tulangan panjang, yaitu tulangan yang direncanakan untuk memikul gaya-gaya lentur tarik dan tekan yang ditimbulkan oleh momen lentur, tegangan geser yang tinggi menimbulkan retak miring. Sehingga untuk mencegah hal tersebut diperlukan penulangan geser. Berikut beberapa jenis-jenis retak yang sering terjadi pada elemen struktur, diantaranya :

#### 1. Retak Lentur

Retak dengan pola horizontal atau datar biasanya disebut retak lentur, disebabkan oleh tekanan yang berlebihan pada balok. Seperti halnya retak geser, retak lentur perlu ditangani dengan cermat.



*Gambar 2. 6 Retak Lentur*

Sumber : Wibowo (2012 : 105)

## 2. Retak Geser

Retak dengan pola diagonal atau miring pada balok biasanya disebut retak geser, yang disebabkan oleh gaya pada arah horizontal atau datar. Retak geser seperti ini cukup membahayakan bila tidak segera di tangani, karena bisa menyebabkan kolom roboh dan tidak mampu menopang bangunan.



*Gambar 2.5 Retak Geser*

Sumber : Wibowo (2012 : 105)

## 3. Selimut beton terkelupas

Selimut beton pada kolom terkelupas, dapat disebabkan oleh rendahnya kualitas atau mutu beton yang digunakan, sehingga kekuatan beton terhadap tekanan berkurang dan selimut beton mudah pecah. Kontrol terhadap tahapan pembangunan sangat diperlukan untuk mencegah penurunan kualitas beton.

## 4. Retak rambut dengan pola tidak beraturan

Saat usia bangunan masih muda, retak-retak rambut sudah bisa dideteksi. Sekalipun retak rambut tidak membahayakan, namun cukup mengganggu pemandangan. Retak-retak kecil ini banyak disebabkan oleh pengaruh lingkungan, yaitu perubahan suhu panas dan dingin yang drastis. Misalnya rumah dibangun pada musim panas, setelah selesai terpapar hujan terus menerus.

## 2.6 Penelitian sebelumnya yang berkaitan Dalam pembahasan

1. Pada penelitian Erwin Rommel (2010) dengan judul “Pembuatan Beton Ringan Dari Agregat Buatan Berbahan Plastik” menyimpulkan bahwa :
  - Agrgat ringan buatan yang berasal dari bahan limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton ringan.
  - Kekuatan tekan beton ringan dari agregat plastik diperoleh sebesar 13,16 Mpa dan berat isi sebesar 1373 kg/m<sup>3</sup>. Sehingga penggunaan beton beton ringan tersebut hanya dipakai untuk elemen struktur ringan dan elemen non-struktur.
2. Pada penelitian Anung Suwarno, Sudarmono dengan judul “Kajian Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Campuran Agregat Beton” menyimpulkan bahwa :
  - Kekuatan tekan beton akan sedikit mengalami penurunan dengan semakin besarnya persenyasi plastik yang ditambahkan.
  - Kekuatan tarik beton bertambah seiring dengan penambahan plastik pada campuran beton.
  - Penambahan plastik akan mengurangi berat elemen konstruksi sehingga akan berdampak semakin ringannya bangunan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*





### BAB III

#### METODE PENELITIAN

##### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2018 semester genap sampai selesai.

##### 3.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa bahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu diantaranya :

###### 3.2.1 *Pozzolan Portland Cement*

Pozzolan Portland Cement yang digunakan pada penelitian ini adalah merek Semen Gresik 40 kg, dalam kondisi tersegel dan tidak terjadi gumpalan pada kemasan semen.

###### 3.2.2 Tulangan Bambu

Tulangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu tulangan bambu jenis petung dan jenis apus. Untuk tulangan longitudinal menggunakan jenis bambu petung dan untuk tulangan transversal menggunakan jenis bambu apus dengan diameter bambu 0,6 cm.

###### 3.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu batu bata sebagai pengganti kerikil. Untuk spesifikasi agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0,5 cm – 2 cm. Agregat yang digunakan diperoleh dari Malang dengan melalui proses pengujian sebelum digunakan.



Gambar 3.1 Batu bata yang digunakan dalam penelitian

### 3.2.4 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu plastik jenis PET sebagai pengganti pasir. Agregat yang digunakan diperoleh dari Malang melalui tahap pengumpulan, pemotongan, serta penggilingan hingga menjadi potongan – potongan kecil sebelum siap digunakan.



Gambar 3.2 Limbah plastik yang digunakan dalam penelitian

### 3.2.5 Air

Air yang digunakan pada penelitian ini yaitu diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

### 3.2.6 Abu Sekam Padi

Sekam padi yang digunakan yaitu berasal dari daerah singosari, yang kemudian dibakar dan abu dari sekam tersebut diambil dan di saring. Abu sekam padi digunakan sebagai bahan tambahan semen sebanyak 20% dari total semen yang digunakan. Abu sekam padi mempunyai sifat khusus yaitu mengandung senyawa kimia yang dapat bersifat *pozzolan*, yaitu mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ), yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kekuatan beton.



Gambar 3.3 Abu Sekam padi yang digunakan dalam penelitian

### 3.3 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa peralatan untuk mempersiapkan material sampai pembuatan benda uji, meliputi :

#### 3.3.1 Saringan

Pada penelitian ini digunakan saringan untuk analisis agregat kasar (batu bata) dan agregat halus (plastik) dalam menentukan gradasi.

#### 3.3.2 Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang berat material penyusun beton dan benda uji. Timbangan yang digunakan yaitu timbangan dengan kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gr.

#### 3.3.3 Cetakan / bekisting

Pada penelitian ini digunakan cetakan atau bekisting untuk benda uji pada balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 20 cm.

#### 3.3.4 Mesin Pengaduk Beton (*Concrete Mixer*)

Mesin pengaduk beton digunakan untuk mengaduk campuran material penyusun beton.

#### 3.3.5 Alat Uji Tekan (*Compression Test Machine*)

Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Compression Test Machine*.

### **3.3.6 Linear Variable Differential Transfomer (LVDT)**

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya deformasi total yang terjadi pada balok

### **3.3.7 Loading Frame**

Loading frame atau rangka penguji berfungsi untuk menempatkan benda uji pada saat pengujian

### **3.3.8 Hydraulic jack**

*Hydraulic jack* atau dongkrak hidrolik dengan kapasitas 5 ton serta *load cell* digunakan untuk memberikan beban *in plane* secara bertahap pada balok

### **3.3.9 Alat Penggiling Plastik**

Alat ini digunakan untuk menggiling plastic PET yang telah di potong-potong, sehingga nantinya menjadi potongan-potongan kecil setelah digiling dan digunakan sebagai agregat halus.

### **3.3.10 Alat Pemadatan**

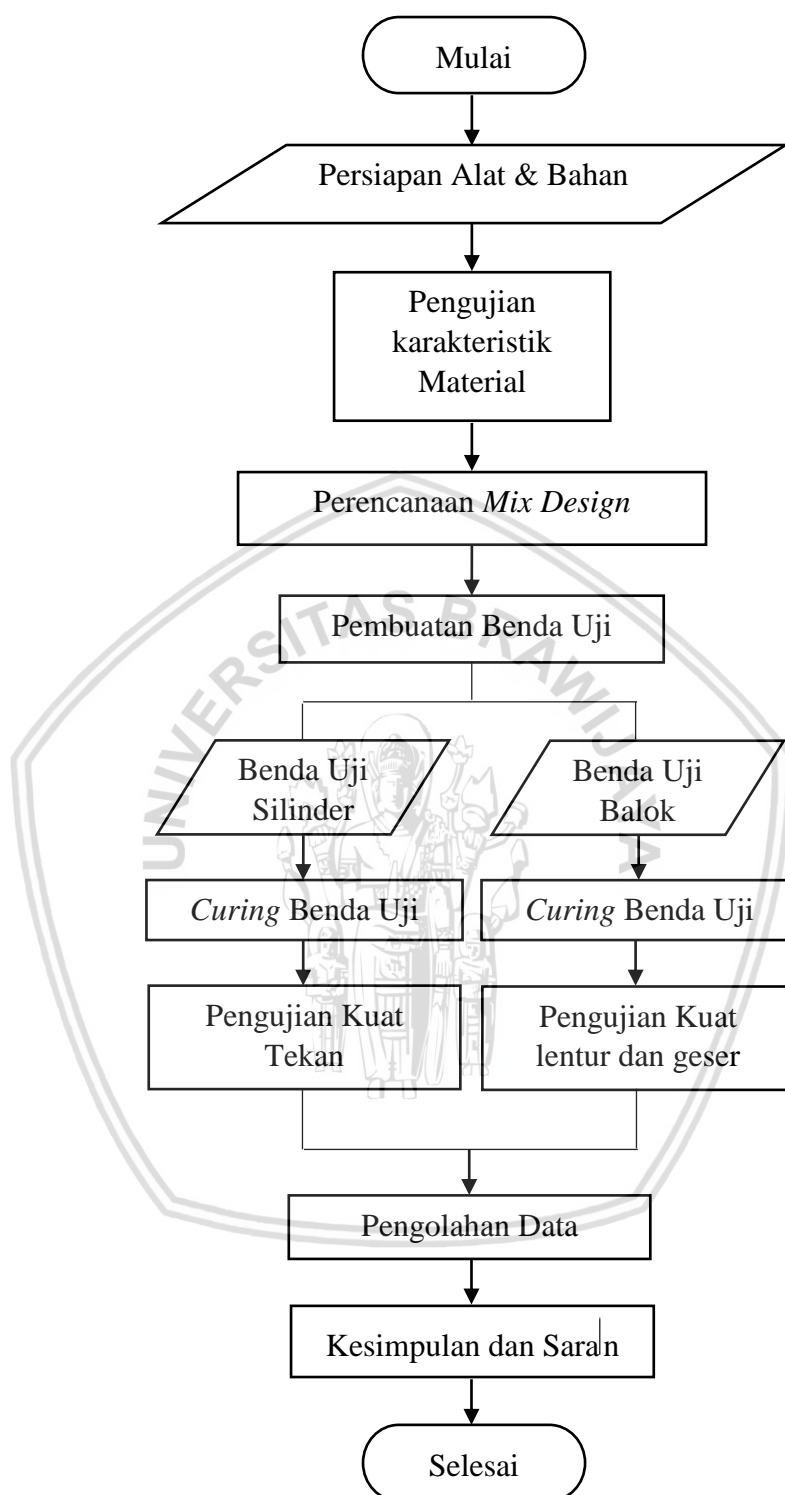
Alat yang digunakan untuk melakukan proses pemadatan pada beton plastik ini yaitu bambu dengan diameter  $\pm 5$  cm. Bambu digunakan untuk memadatkan campuran beton ke dalam cetakan/bekisting agar agregat batu bata pada campuran beton tidak pecah/hancur karena relatif lebih ringan.

### **3.3.11 Alat Bantu Lainnya**

Alat lainnya diantaranya yaitu karung goni, sendok semen, talam, mistar prngukur, ember, plat, alat tulis, dan baik air untuk proses *curing* benda uji.



### 3.4 Diagram Alir Pengujian

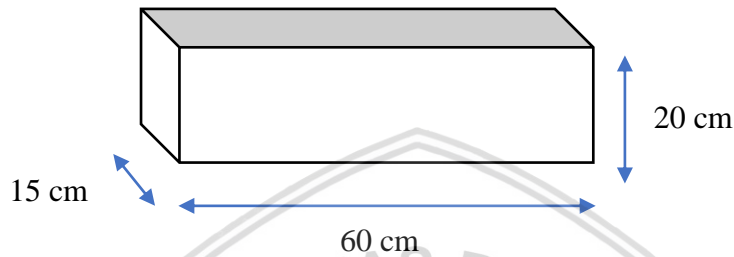


3.4 Diagram alir tahapan penelitian



### 3.5 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat balok dengan ukuran 60 cm x 15 cm x 20 cm sebanyak 9 buah dengan komposisi agregat yang berbeda – beda. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh komposisi agregat terhadap kuat geser dan kuat lentur balok bertulang bambu pada umur 28 hari. Benda uji balok diberikan variasi komposisi agregat yang berbeda - beda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1



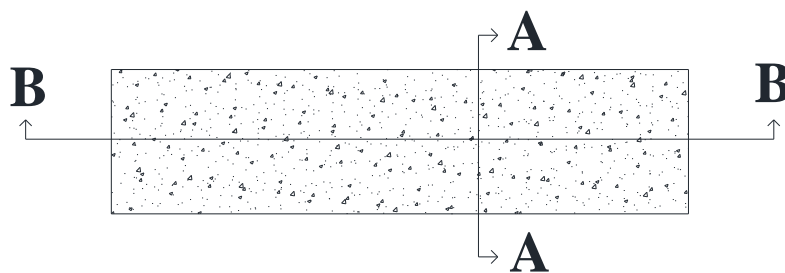
Gambar 3.5 Bentuk Benda Uji Kuat Lentur dan Kuat Geser

| Benda Uji | Jumlah | Umur Beton | Variasi Komposisi Agregat (Berat) |
|-----------|--------|------------|-----------------------------------|
| BK1       | 3      | 28         | 1,8 : 0,66 : 1,3                  |
| BK2       | 3      | 28         | 2 : 0,66 : 1,3                    |
| BK3       | 3      | 28         | 2 : 0,8 : 1,1                     |
| BN        | 3      | 28         | 1 : 2 : 3                         |

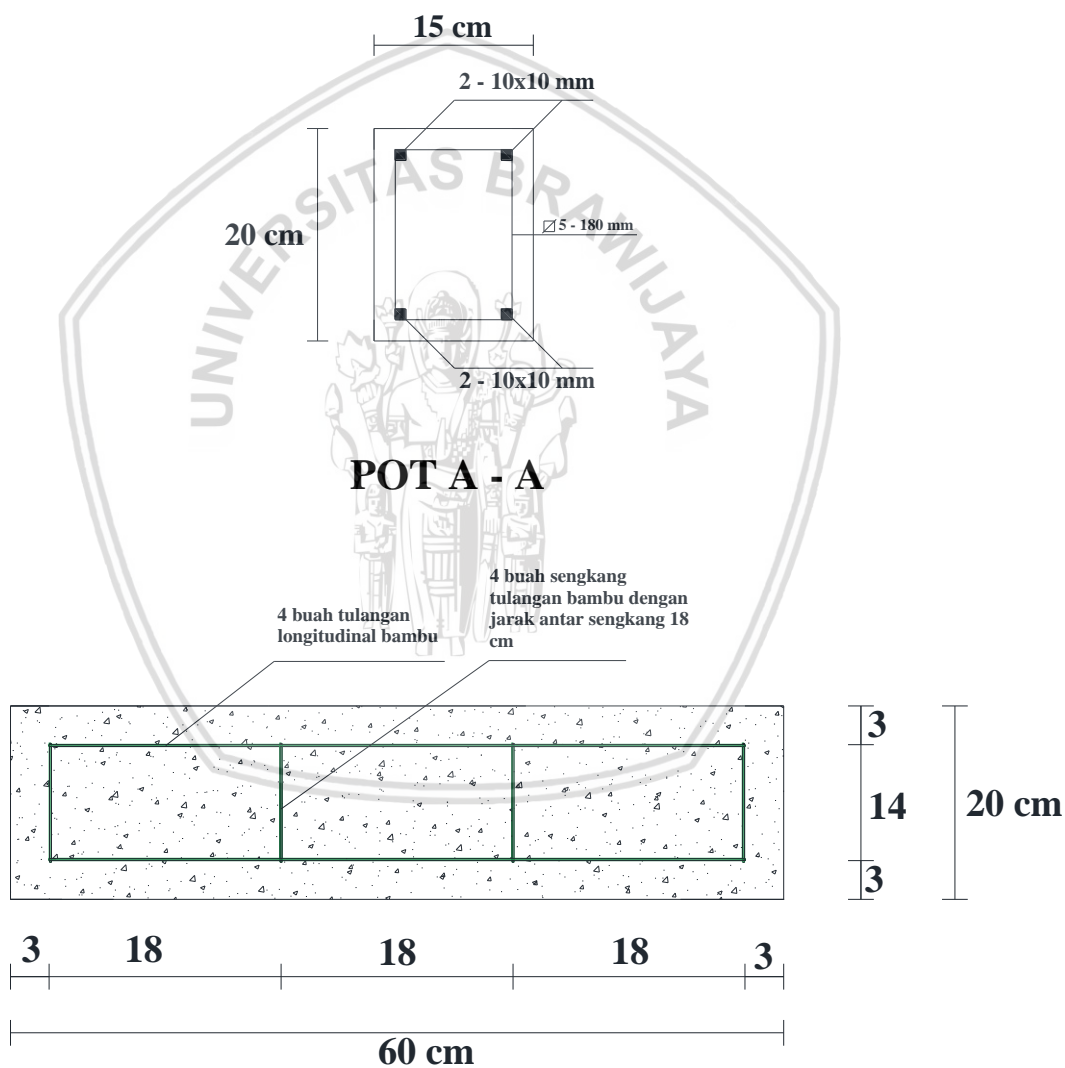
Tabel 3.1 Rancangan penelitian dengan variasi komposisi agregat

Pada penelitian ini digunakan benda uji balok dengan dimensi panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi, 20 cm, dengan menggunakan tulangan bambu sebanyak 4 buah pada tiap benda uji dengan ukuran 10 x 10 mm dan jarak antar tulangan yaitu 18 cm, dan siap diuji pada umur 28 hari. Pada kode balok BK1 variasi komposisi agregat yang digunakan yaitu 1,8 : 0,66 : 1,3 dengan jumlah 3 benda uji, pada kode balok BK2 variasi komposisi agregat yang digunakan yaitu 2 : 0,66 : 1,3 dengan jumlah 3 benda uji, dan pada kode balok BK3 variasi komposisi yang digunakan yaitu 2 : 0,8 : 1,1 dengan jumlah 3 benda uji.

Pemodelan benda uji pada penelitian ini adalah seperti gambar berikut:



### TAMPAK DEPAN



### POT B - B

Gambar 3.6 Skema penulangan balok

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas yaitu variasi komposisi agregat pada beton.
2. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini yaitu gaya tekan, kuat geser, dan pola retak beton.

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (plastik) dan agregat kasar (Batu bata).

#### 3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji balok adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan material penyusun beton sesuai dengan *mix design*.
2. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji.
3. Bahan – bahan material tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk beton kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit.
4. Setelah pengadukan selesai, dilakukan pengukuran nilai *slump* pada setiap variasi.
5. Cetakan/bekisting disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli dan memasang tulangan detail sesuai perencanaan.
6. Setelah itu campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan/bekisting.

#### 3.7.3 Perawatan Benda Uji

Setelah 24 jam cetakan benda uji balok dilepaskan dan dilakukan perawatan dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji direndam dalam bak berisi air.
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Pada penelitian ini digunakan perawatan benda uji dengan cara benda uji diselimuti karung goni basah dan dibasahi terus menerus tiap harinya dengan air selama 28 hari.

#### 3.7.4 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang mengakibatkan beton tersebut hancur pada gaya tertentu oleh mesin penguji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton pada umur 28 hari berdasarkan standart ASTM C-39 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*). .

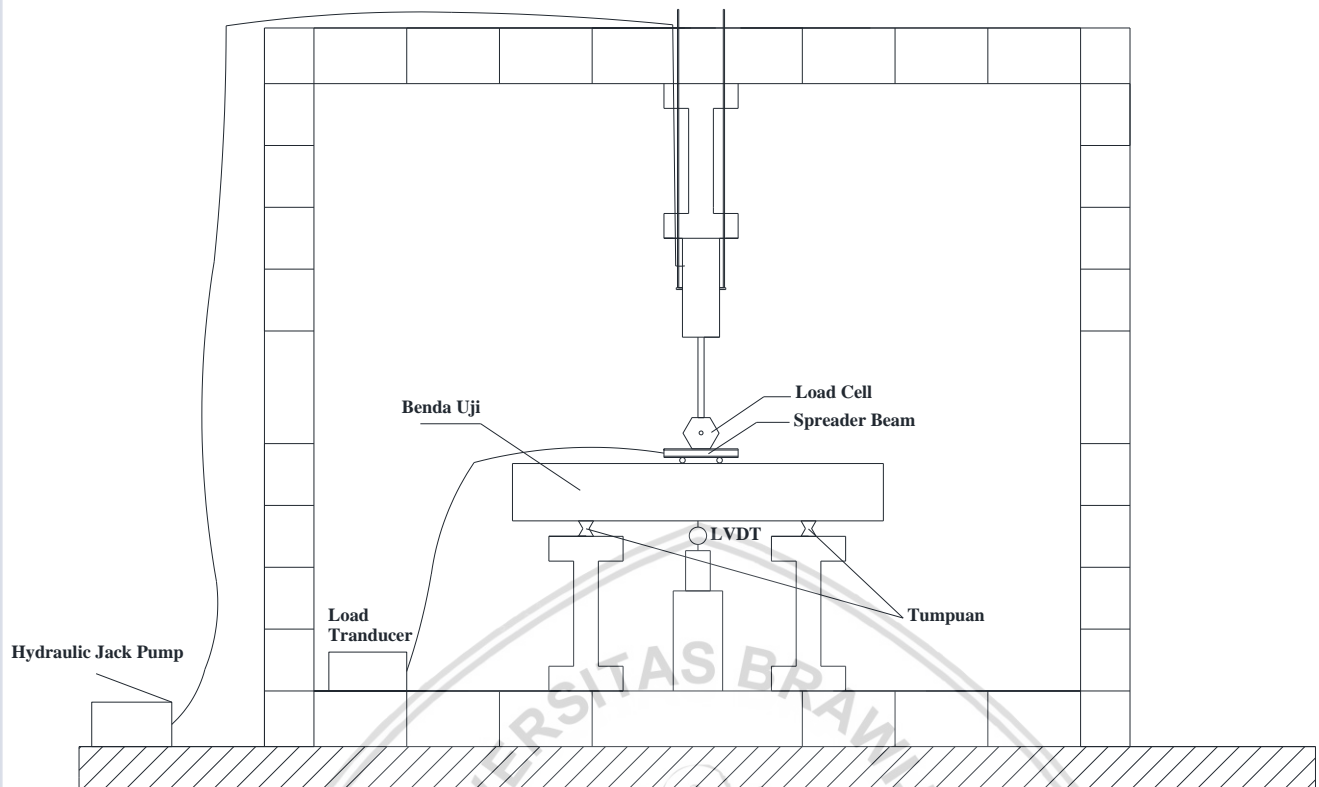
Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dan kerapatan beton sebagai data tambahan.
2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.
5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.

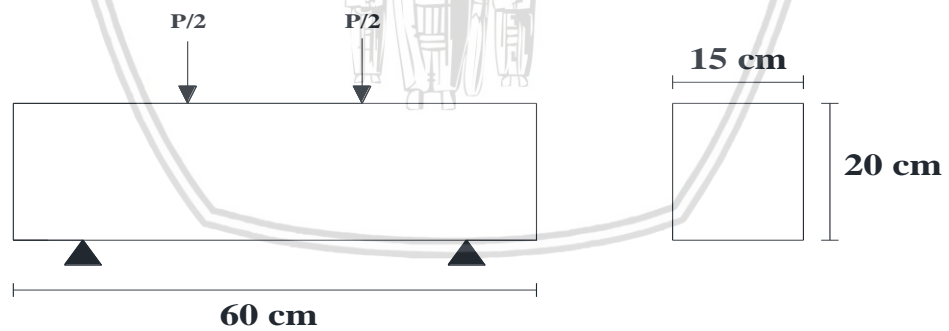
#### 3.7.5 Pengujian Kuat Lentur dan Geser

Maksud dan tujuan pada pengujian kuat lentur yaitu untuk mendapatkan parameter kuat lentur dari hasil pengujian di laboratorium dan memakai konsep gelagar sederhana dengan sistem beban titik ditengah.

Pengujian kuat lentur dan kuat geser balok dilakukan dengan menggunakan alat *hydraulic jack pump* dan *loading frame*. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban vertikal (P) dari *hydraulic jack pump* pada dua titik sejarak  $\frac{1}{3}$  L dari tumpuan balok. Pada pengujian kuat lentur dan kuat geser balok ini juga dilakukan pengamatan terhadap pola retak yang terjadi pada balok.



Gambar 3.7 Skema pengujian benda uji balok



Gambar 3.8 Skema pembebanan balok

### 3.8 Metode Analisis Data

#### 3.8.1 Pengumpulan Data

Dari pengujian yang telah dilakukan diambil data-data yang diperlukan.

| No | Benda Uji | Slump (cm) | Rata -Rata Slump (cm) |
|----|-----------|------------|-----------------------|
| 1  | V1 - S1   |            |                       |
| 2  | V1 - S2   |            |                       |
| 3  | V1 - S3   |            |                       |
| 4  | V2 - S1   |            |                       |
| 5  | V2 - S2   |            |                       |
| 6  | V2 - S3   |            |                       |
| 7  | V3 - S1   |            |                       |
| 8  | V3 - S2   |            |                       |
| 9  | V3 - S3   |            |                       |

Tabel 3.2 Tabel hasil uji *slump* beton ringan

| No | Benda Uji | Slump (cm) | Rata-Rata Slump (cm) |
|----|-----------|------------|----------------------|
| 1  | BN-1      |            |                      |
| 2  | BN-2      |            |                      |
| 3  | BN-3      |            |                      |

Tabel 3.3 Tabel hasil uji *slump* beton normal



Dari pengujian yang telah dilakukan diambil data-data yang diperlukan.

| Kode Benda Uji | Umur (Hari) | Beban Maksimum (kN) | Kuat Tekan (MPa) | Berat Isi (kg/cm <sup>3</sup> ) | Kuat Tekan Rata - Rata | Berat Isi Rata-Rata |
|----------------|-------------|---------------------|------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------|
| B.P.A.1        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.A.2        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.A.3        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.A.4        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.A.5        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.B.1        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.B.2        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.B.3        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.B.4        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.B.5        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.C.1        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.C.2        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.C.3        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.C.4        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |
| B.P.C.5        |             |                     |                  |                                 |                        |                     |

Tabel 3.4 Tabel hasil pengujian kuat tekan beton ringan

| Kode Benda Uji | Umur (Hari) | Beban Maksimum (kN) | Kuat Tekan (MPa) | Berat Isi (kg/cm <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|---------------------|------------------|---------------------------------|
| BN-1           | 28          |                     |                  |                                 |
| BN-2           | 28          |                     |                  |                                 |
| BN-3           | 28          |                     |                  |                                 |

Tabel 3.5 Tabel hasil pengujian kuat tekan beton normal

Dari pengujian yang telah dilakukan diambil data-data yang diperlukan.

| No | Variasi | $f_c$ (Mpa) | $f_y$ bambu (Mpa) | $P_u$ Maksimum Geser (kg) |
|----|---------|-------------|-------------------|---------------------------|
| 1  | A       |             |                   |                           |
| 2  | B       |             |                   |                           |
| 3  | C       |             |                   |                           |

Tabel 3.6 Tabel hasil pengujian kuat geser beton ringan

### 3.8.2 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berat jenis beton ringan dan kekuatan beton pada variasi komposisi semen dan agregat. Pengujian yang telah dilakukan menghasilkan data-data yang dibutuhkan untuk selanjutnya dilakukan perhitungan. Dokumentasi selama pengujian juga disertakan dalam Lampiran sebagai bahan bukti hasil pengujian. Dari data-data perhitungan yang telah dikerjakan, dipilih variasi komposisi yang mempunyai kekuatan paling optimal tetapi masih terbilang ringan.

### 3.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang dapat digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Variasi komposisi semen, agregat kasar berupa batu bata pecah dan agregat halus plastik akan mempengaruhi kekuatan beton yang dihasilkan.
2. Semakin tinggi proporsi material plastik dan batu bata yang digunakan, maka semakin rendah berat jenis beton yang dihasilkan, sehingga menghasilkan beton ringan, namun kekuatan yang dihasilkan belum diketahui.
3. Semakin banyak semen yang digunakan dalam campuran beton, maka semakin baik komposisi beton yang dihasilkan sehingga berpengaruh terhadap pola retak yang akan diamati.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbandingan berat antara semen dan agregat.

**Tabel 4.1** Perencanaan *mix design* beton ringan plastik dengan menggunakan perbandingan berat

| Kode Variasi   | Semen | Abu Sekam Padi | Plastik | Batu Bata | Air   | Satuan |
|----------------|-------|----------------|---------|-----------|-------|--------|
| 1,8 : 0,7: 1,3 | 9,6   | 1,92           | 3,52    | 6,93      | 6,72  | kg     |
| 2 : 0,7: 1,3   | 10,67 | 2,134          | 3,52    | 6,93      | 7,469 | kg     |
| 2 : 0,7: 1,1   | 10,67 | 2,134          | 3,52    | 5,87      | 7,469 | kg     |

Pada penelitian ini campuran pada *mix design* beton ringan menggunakan nilai FAS sebesar 0,7 dari berat semen pada tiap benda uji dengan tiga variasi dan masing-masing variasi berjumlah tiga benda uji, sedangkan pada campuran beton normal menggunakan nilai FAS sebesar 0,54 dengan jumlah tiga benda uji. Pada setiap benda uji digunakan bahan tambah yaitu abu sekam padi sebanyak 20% dari masing-masing berat semen tiap komposisi.

Contoh perhitungan :

Untuk variasi komposisi A, diketahui benda uji balok tanpa tulangan

Panjang (l) = 60 cm

Lebar (b) = 15 cm

Tinggi (h) = 20 cm

Volume benda uji =  $b \times h \times l = 15 \times 20 \times 60 = 13500 \text{ cm}^3 = 0.0180 \text{ m}^3$

Volume kubus =  $15 \times 15 \times 15 = 3375 \text{ cm}^3 = 0,003375 \text{ m}^3$

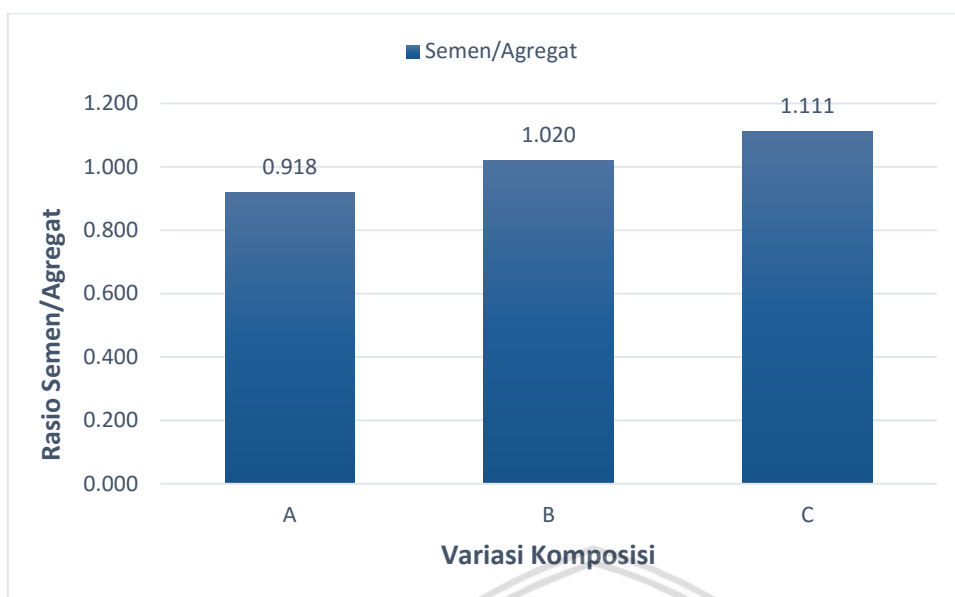
Maka, diperlukan

$$\begin{aligned}
 \text{Semen} &= 1,8 \times \frac{\text{volume benda uji}}{\text{volume kubus}} = 1,8 \times \frac{0,0180}{0,003375} = 9,6 \text{ kg} \\
 \text{ASP} &= 0,2 \times \text{berat semen} = 0,2 \times 9,6 = 1,92 \text{ kg} \\
 \text{Air (FAS 0,7)} &= 0,7 \times 9,6 = 6,72 \text{ kg} \\
 \text{Plastik} &= 0,66 \times \frac{\text{volume benda uji}}{\text{volume kubus}} = 0,66 \times \frac{0,0180}{0,003375} = 3,52 \text{ kg} \\
 \text{Batu bata} &= 1,3 \times \frac{\text{volume benda uji}}{\text{volume kubus}} = 1,3 \times \frac{0,0180}{0,003375} = 6,93 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Diantara ketiga variasi, variasi yang memiliki rasio semen paling besar adalah variasi C dengan perbandingan rasion semen : agregat dalam kilogram 1 : 0,900. Rasio semen/agregat dapat dilihat pada gambar 4.2

**Tabel 4.2** Perbandingan Rasio Semen/Agregat

| Kode Variasi | Variasi          | Semen | Plastik | Batu Bata | Satuan |
|--------------|------------------|-------|---------|-----------|--------|
| A            | 1,8 : 0,66 : 1,3 | 1     | 0,3667  | 0,722     | kg     |
|              |                  |       | 1,0887  |           |        |
| B            | 2 : 0,66 : 1,3   | 1     | 0,333   | 0,65      | kg     |
|              |                  |       | 0,983   |           |        |
| C            | 2 : 0,70 : 1,1   | 1     | 0,35    | 0,55      | kg     |
|              |                  |       | 0,900   |           |        |



Gambar 4.1 Grafik batang perbandingan rasio semen/agregat

#### 4.2 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Tahap awal pembuatan benda uji yaitu menyiapkan tulangan bambu dengan panjang 100 cm yang dipotong menjadi beberapa segmen dan kemudian dibentuk menjadi sengkang, menyiapkan bekisting dengan ukuran 15 cm x 20 cm x 600 cm, dan pemotongan tulangan bambu dengan panjang 54 cm. Tulangan bambu yang digunakan sebagai tulangan adalah bambu petung. Untuk benda uji beton ringan plastik ini digunakan sengkang dengan tulangan bambu dengan dimensi 0,5 cm x 0,5 cm. Tulangan bambu yang sudah siap kemudian dilapisi cat dan pasir seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4.2 Tulangan Bambu yang Sudah Dilapisi Cat dan Pasir dan Dibentuk Sengkang



Setelah pembuatan tulangan geser bambu, dilakukan pemasangan sengkang dengan jarak 18 cm dengan tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan dimensi 0,5 cm x 1 cm. Sebelum dilakukan pengecoran, dilakukan pemasangan klem selang untuk menahan terjadinya selip pada bambu dan menahan gaya tarik yang terjadi. Detail pembuatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Penulangan Benda Uji

Proses pencampurn beton ringan plastik dilakukan dengan menggunakan mesin mixer dengan kapasitas 50 kg, dalam 1 kali pencampuran beton dapat menghasilkan dua benda uji balok. Sebelum dilakukan pencampuran, material terlebih dahulu dipersiapkan sesuai dengan perencanaan kemudian dilakukan pengecoran ke dalam bekisting dandilakukan pemadatan dengan menggunakan tongkat pemadat (bambu). Kemudian benda uji balok dikeluarkan dari bekisting setelah berumur 2 hari. Dilakukan proses *curing* pada balok dengan menggunakan karung goni yang dibasahi air dimulai pada umur beton 1 hari.



Gambar 4.4 Benda Uji Balok

### 4.3 Pengujian Slump

Sebelum melakukan proses pengecoran ke dalam bekisting balok, perlu dilakukan pengujian slump yang bertujuan untuk mengetahui kekentalan adukan beton. Dalam suatu pencampuran beton, kadar air sangat diperhatikan karena menentukan tingkat *workability* (pengerjaan beton). Semakin banyak air yang digunakan (cair) akan menghasilkan beton dengan mutu yang rendah dan juga menyebabkan beton lama mengering, namun jika campuran beton terlalu kering akan menyebabkan adukan tidak merata dan sulit dicetak. Alat yang digunakan dalam pengujian adalah kerucut Abrams dan tongkat pemadat. Beton dimasukkan ke dalam kerucut sebanyak tiap 1/3 lapis dan dipadatkan menggunakan tulangan baja sebanyak 25 kali tusukan tiap lapisannya. Keruntuhan yang terjadi setelah kerucut diangkat, diukur menggunakan penggaris untuk mendapatkan selisih dari tinggi kerucut dan keruntuhan campuran beton.



Gambar 4.5 Pengujian Slump

Dari pengujian ini didapatkan nilai slump rata-rata sebesar 10,67 cm untuk benda uji variasi 1, variasi 2 sebesar 11,17 cm dan 10 cm untuk variasi 3 yang didapatkan dari hasil pengujian *slump* pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian *Slump* Beton Ringan

| No | Benda Uji | Slump (cm) | Rata -Rata Slump (cm) |
|----|-----------|------------|-----------------------|
| 1  | V1 - S1   | 11,5       | 10,67                 |
| 2  | V1 - S2   | 10,5       |                       |
| 3  | V1 - S3   | 10         |                       |
| 4  | V2 - S1   | 12         | 11,17                 |
| 5  | V2 - S2   | 11,5       |                       |
| 6  | V2 - S3   | 10         |                       |
| 7  | V3 - S1   | 9          | 10                    |
| 8  | V3 - S2   | 12         |                       |
| 9  | V3 - S3   | 9          |                       |

Sumber : Hasil Pengujian

**Tabel 4.4** Hasil Pengujian *Slump* Beton Normal

| No | Benda Uji | Slump (cm) | Rata-Rata Slump (cm) |
|----|-----------|------------|----------------------|
| 1  | BN-1      | 10,5       | 10,67                |
| 2  | BN-2      | 10,5       |                      |
| 3  | BN-3      | 11         |                      |

Sumber : Hasil Pengujian

Keterangan :

- V1 - S1 = Benda uji balok variasi 1 sampel pertama
- V1 - S2 = Benda uji balok variasi 1 sampel kedua
- V1 - S3 = Benda uji balok variasi 1 sampel ketiga
- V2 - S1 = Benda uji balok variasi 2 sampel pertama
- V2 - S2 = Benda uji balok variasi 2 sampel kedua
- V2 - S3 = Benda uji balok variasi 2 sampel ketiga
- V3 - S1 = Benda uji balok variasi 3 sampel pertama
- V3 - S2 = Benda uji balok variasi 3 sampel kedua
- V3 - S3 = Benda uji balok variasi 3 sampel ketiga

Dari hasil pengujian slump didapatkan nilai slump yang bervariasi tiap benda uji. Nilai yang bervariasi ini terjadi akibat pengaruh penambahan air saat pencampuran dilakukan. Semakin banyak air yang digunakan pada campuran beton maka semakin encer campuran beton tersebut, sehingga penambahan air yang berlebihan pada pembuatan beton akan berdampak besar terhadap kekuatan beton itu sendiri. Semakin banyak air yang digunakan, maka kekuatan beton akan semakin berkurang.

#### 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini dibuat benda uji silinder sebanyak 15 sampel. Tiap variasi berjumlah masing – masing 5 sampel benda uji silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30 cm. Proses perawatan (*curing*) benda uji dilakukan dengan menggunakan karung goni yang dibasahi menggunakan air. Proses perawatan (*curing*) dilakukan selama 7 hari setelah di cor, kemudian setelah berumur 28 hari sampel silinder beton dilakukan pengujian kuat tekan beton. Pengujian tekan menggunakan *Compression Test Machine (CTM)*, pengujian kuat tekan beton menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 4,7687 Mpa.



Gambar 4.6 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Variasi 1

| No | Nama Benda Uji | Berat (kg) | Luas Penampang (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat Isi (kg/cm <sup>3</sup> ) | Umur (hari)               | Beban Maksimum |          | Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> ) | (fci-fcm) <sup>2</sup> |
|----|----------------|------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------|----------|----------------------------------|------------------------|
|    |                |            |                                   |                           |                                 |                           | kN             | kg       | 28 hari (fci)                    | kg/cm <sup>2</sup>     |
| 1  | BK1-1          | 8,75       | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001650496                     | 28                        | 93,2           | 9320     | 52,7                             | 0,720506               |
| 2  | BK1-2          | 8,95       | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001688221                     | 28                        | 88,8           | 8880     | 50,3                             | 11,14703               |
| 3  | BK1-3          | 9,2        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001735378                     | 28                        | 102,5          | 10250    | 58,0                             | 19,48249               |
| 4  | BK1-4          | 8,9        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,00167879                      | 28                        | 85             | 8500     | 48,1                             | 30,12997               |
| 5  | BK1-5          | 8,75       | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001650496                     | 28                        | 104            | 10400    | 58,9                             | 27,69626               |
|    |                |            |                                   |                           | 0,001680676                     | Jumlah                    | 473,5          | 47350    | 267,9                            | 89,17625               |
|    |                |            |                                   |                           |                                 | Rata2                     | 94,7           | 9470     |                                  |                        |
|    |                |            |                                   |                           |                                 | fc'm                      |                |          | 53,6                             |                        |
|    |                |            |                                   |                           |                                 | SD                        |                |          | 4,721659                         |                        |
|    |                |            |                                   |                           |                                 | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) |                |          | 45,82211                         |                        |
|    |                |            |                                   |                           |                                 | f'c (Mpa)                 |                |          | 4,582211                         |                        |
|    |                |            |                                   |                           |                                 | Berat Volume              |                | 1680,676 | kg/m3                            |                        |



**Tabel 4.6** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Variasi 2

| No                        | Nama Benda Uji | Berat (kg) | Luas Penampang (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat Isi (kg/cm <sup>3</sup> ) | Umur (hari) | Beban Maksimum |                            | Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> ) | (fci-fcm) <sup>2</sup> |
|---------------------------|----------------|------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------|----------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                           |                |            |                                   |                           |                                 |             | kN             | kg                         | 28 hari (fci)                    | kg/cm <sup>2</sup>     |
| 1                         | BK1-1          | 8,65       | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001631633                     | 28          | 118,9          | 11890                      | 67,3                             | 25,70817               |
| 2                         | BK1-2          | 8,7        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001641064                     | 28          | 87             | 8700                       | 49,2                             | 168,5163               |
| 3                         | BK1-3          | 8,75       | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001650496                     | 28          | 123,7          | 12370                      | 70,0                             | 60,63063               |
| 4                         | BK1-4          | 8,8        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001659927                     | 28          | 108,6          | 10860                      | 61,5                             | 0,574996               |
| 5                         | BK1-5          | 8,6        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001622201                     | 28          | 111,5          | 11150                      | 63,1                             | 0,7793                 |
| 0,001641064 Jumlah        |                |            |                                   |                           |                                 |             | 549,7          | 54970                      | 311,1                            | 256,2094               |
| Rata2                     |                |            |                                   |                           |                                 |             | 109,94         | 10994                      |                                  |                        |
| fc'm                      |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |                            | 62,2                             |                        |
| SD                        |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |                            | 8,003272                         |                        |
| f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |                            | 49,04793                         |                        |
| f'c (Mpa)                 |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |                            | 4,904793                         |                        |
| Berat Volume              |                |            |                                   |                           |                                 |             |                | 1641,064 kg/m <sup>3</sup> |                                  |                        |

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan Variasi 3

| No                        | Nama Benda Uji | Berat (kg) | Luas Penampang (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat Isi (kg/cm <sup>3</sup> ) | Umur (hari) | Beban Maksimum |                            | Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> ) | (fci-fcm) <sup>2</sup> |
|---------------------------|----------------|------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------|----------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                           |                |            |                                   |                           |                                 |             | kN             | kg                         | 28 hari (fci)                    | kg/cm <sup>2</sup>     |
| 1                         | BK1-1          | 8,55       | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,00161277                      | 28          | 117,2          | 11720                      | 66,3                             | 41,0344                |
| 2                         | BK1-2          | 8,5        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001603339                     | 28          | 117,6          | 11760                      | 66,5                             | 43,98559               |
| 3                         | BK1-3          | 8,6        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001622201                     | 28          | 88,4           | 8840                       | 50,0                             | 97,84487               |
| 4                         | BK1-4          | 8,6        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001622201                     | 28          | 108            | 10800                      | 61,1                             | 1,439219               |
| 5                         | BK1-5          | 8,8        | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,001659927                     | 28          | 98,2           | 9820                       | 55,6                             | 18,88764               |
| 0,001624088 Jumlah        |                |            |                                   |                           |                                 |             | 529,4          | 52940                      | 299,6                            | 203,1917               |
| Rata2                     |                |            |                                   |                           |                                 |             | 105,88         | 10588                      |                                  |                        |
| fc'm                      |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |                            | 59,9                             |                        |
| SD                        |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |                            | 7,127267                         |                        |
| f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |                            | 48,19147                         |                        |
| f'c (Mpa)                 |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |                            | 4,819147                         |                        |
| Berat Volume              |                |            |                                   |                           |                                 |             |                | 1624,088 kg/m <sup>3</sup> |                                  |                        |



**Tabel 4.8** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal

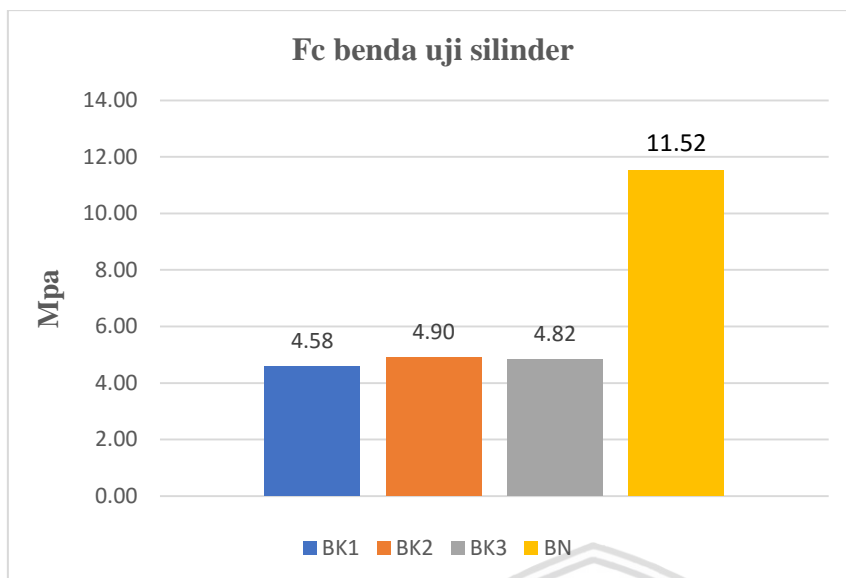
| No                        | Nama Benda Uji | Berat (kg) | Luas Penampang (cm <sup>2</sup> ) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat Isi (kg/cm <sup>3</sup> ) | Umur (hari) | Beban Maksimum |          | Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> ) | (fci-fcm) <sup>2</sup> |
|---------------------------|----------------|------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------|----------------|----------|----------------------------------|------------------------|
|                           |                |            |                                   |                           |                                 |             | kN             | kg       |                                  |                        |
| 1                         | BN-1           | 12,25      | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,002310694                     | 28          | 299            | 29900    | 169,2                            | 58,07316               |
| 2                         | BN-2           | 12,4       | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,002338988                     | 28          | 230,4          | 23040    | 130,4                            | 973,3829               |
| 3                         | BN-3           | 12,3       | 176,7145868                       | 5301,437603               | 0,002320125                     | 28          | 327,2          | 32720    | 185,2                            | 555,9461               |
| 0,002323269 Jumlah        |                |            |                                   |                           |                                 |             | 856,6          | 85660    | 484,7                            | 1587,402               |
| Rata2                     |                |            |                                   |                           |                                 |             | 285,5333       | 28553,33 |                                  |                        |
| fc'm                      |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |          | 161,6                            |                        |
| SD                        |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |          | 28,1727                          |                        |
| f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |          | 115,2347                         |                        |
| f'c (Mpa)                 |                |            |                                   |                           |                                 |             |                |          | 11,52347                         |                        |
| Berat Vo                  |                |            |                                   |                           |                                 |             | 2323,269       | kg/m3    |                                  |                        |

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Berat Isi Silinder Beton Ringan

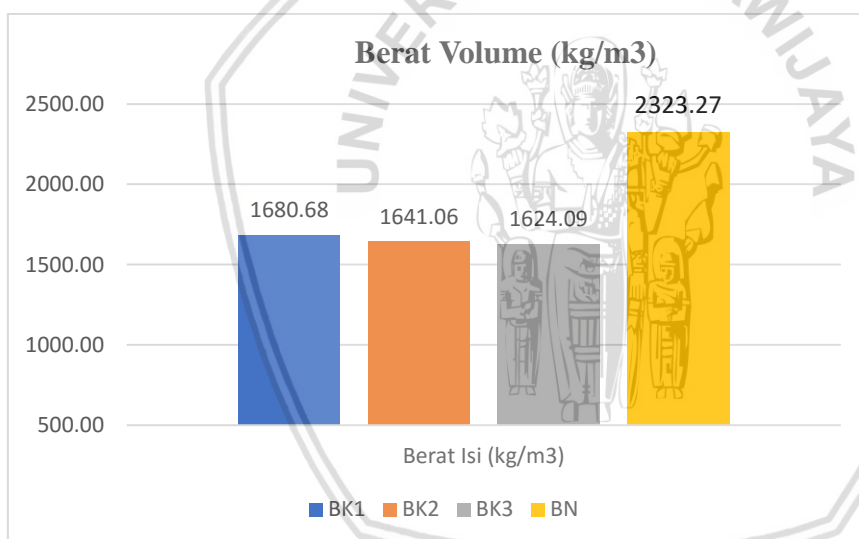
| Komposisi        | Benda Uji | fc (Mpa)    | Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|-----------|-------------|-----------------------------------|
| 1,8 : 0,66 : 1,3 | BK1-1     | 4,582210883 | 1680,676199                       |
|                  | BK1-2     |             |                                   |
|                  | BK1-3     |             |                                   |
| 2 : 0,66 : 1,3   | BK2-1     | 4,904793139 | 1641,064302                       |
|                  | BK2-2     |             |                                   |
|                  | BK2-3     |             |                                   |
| 2 : 0,8 : 1,1    | BK3-1     | 4,81914701  | 1624,087775                       |
|                  | BK3-2     |             |                                   |
|                  | BK3-3     |             |                                   |

**Tabel 4.10** Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Berat Isi Silinder Beton Normal

| Komposisi   | Benda Uji | fc (Mpa)    | Berat Isi (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|-----------|-------------|--------------------------------|
| 1 : 1,9 : 3 | BN1       | 11,52347207 | 2323,269194                    |
|             | BN2       |             |                                |
|             | BN3       |             |                                |



Gambar 4.7 Grafik Batang Kuat Tekan Rata-Rata Benda Uji Silinder



Gambar 4.8 Grafik Batang Berat Isi Rata-Rata Benda uji Silinder

#### 4.5 Berat Volume

Berat volume merupakan rasio antara berat dan volume benda uji. Pada umumnya berat volume beton normal yaitu 2200 – 2500 kg/m<sup>3</sup> dan beton ringan memiliki berat volume dibawah 1900 kg/m<sup>3</sup> . Berat volume dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\gamma = \frac{w}{v}$$

dengan :

$\gamma$  = berat volume ( $\text{kg/m}^3$ )

w = berat benda uji (kg)

v = volume benda uji ( $\text{m}^3$ )

Contoh perhitungan :

Benda uji V1-S1

Panjang (l) = 60 cm

Lebar (b) = 15 cm

Tinggi (h) = 20 cm

Volume benda uji =  $b \times h \times l = 15 \times 20 \times 60 = 18000 \text{ cm}^3 = 0,0180 \text{ m}^3$

Berat benda uji = 29,25 kg

Maka berat volume benda uji :  $\gamma = \frac{29,25}{0,0180} = 1625 \text{ kg/m}^3$

**Tabel 4.11** Berat Volume Benda Uji Balok Beton Ringan

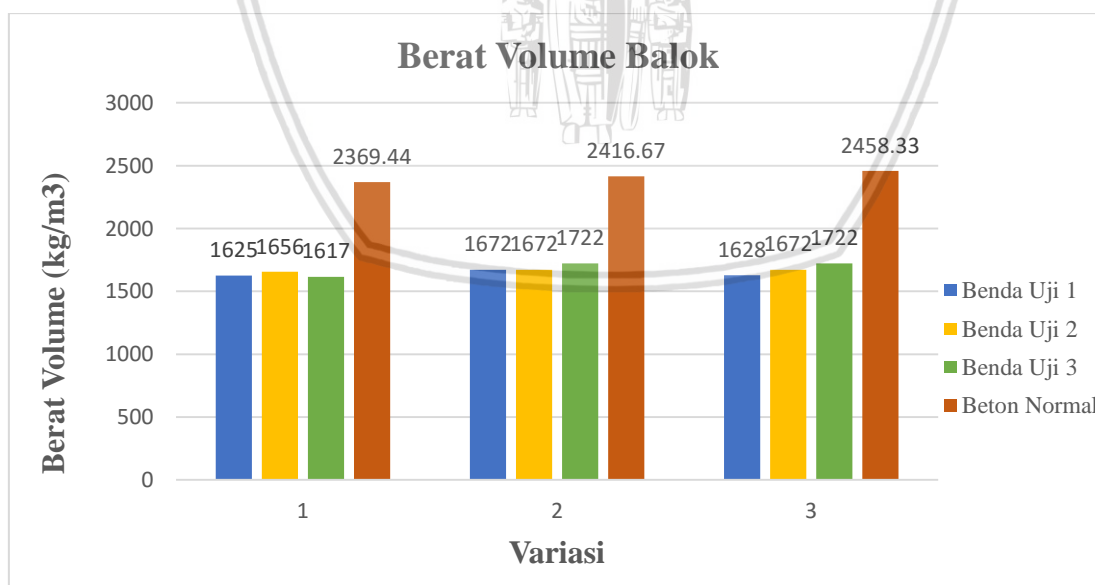
| Benda Uji<br>No. | Berat (kg) | Volume<br>( $\text{m}^3$ ) | Berat Volume<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | Berat Isi<br>Rata-Rata<br>( $\text{kg/m}^3$ ) |
|------------------|------------|----------------------------|-------------------------------------|---|
| V1-S1            | 29,25      | 0,018                      | 1625,00                             |   |
| V1-S2            | 29,8       | 0,018                      | 1655,56                             | 1632,41                                       |
| V1-S3            | 29,1       | 0,018                      | 1616,67                             |   |
| V2-S1            | 30,1       | 0,018                      | 1672,22                             |   |
| V2-S2            | 30,1       | 0,018                      | 1672,22                             | 1688,89                                       |
| V2-S3            | 31         | 0,018                      | 1722,22                             |   |

|       |      |       |         |         |
|-------|------|-------|---------|---------|
| V3-S1 | 29,3 | 0,018 | 1627,78 |         |
| V3-S2 | 30,1 | 0,018 | 1672,22 | 1674,07 |
| V3-S3 | 31   | 0,018 | 1722,22 |         |

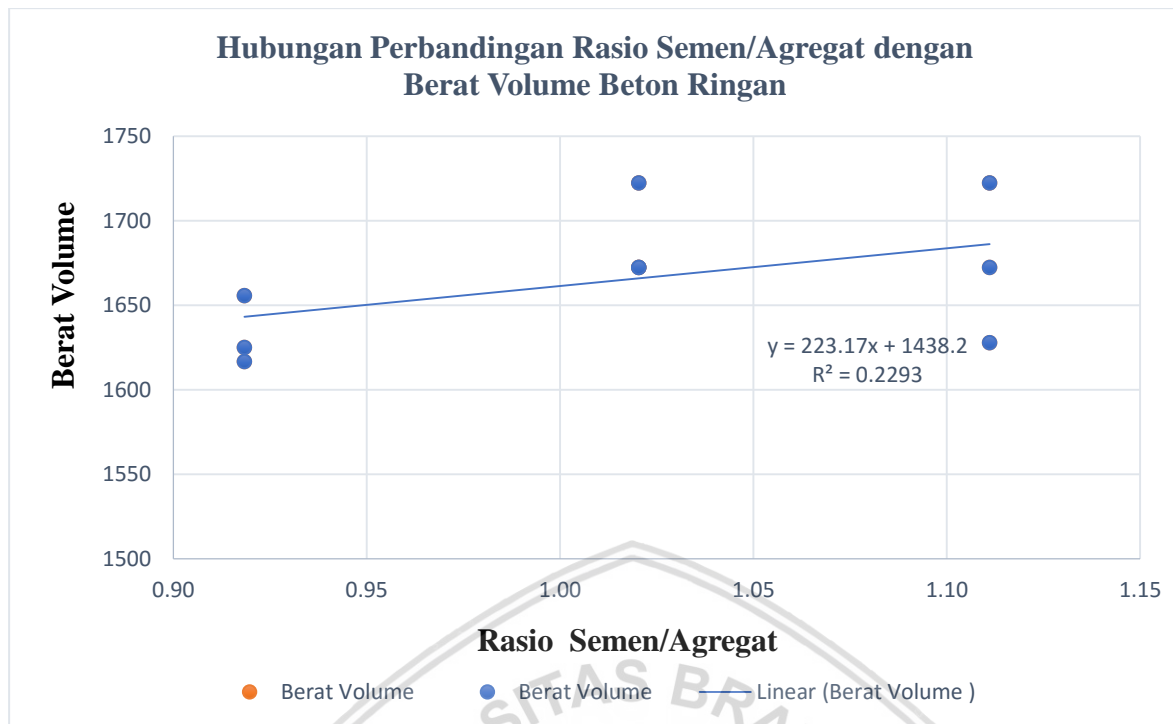
**Tabel 4.12** Berat Volume Benda Uji Balok Beton Normal

| Benda Uji No. | Berat (kg) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> ) | Berat Volume Rata-Rata (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|------------|--------------------------|-----------------------------------|---|
| BN-1          | 42,65      | 0,018                    | 2369,44                           |   |
| BN-2          | 43,5       | 0,018                    | 2416,67                           | 2414,81                                     |
| BN-3          | 44,25      | 0,018                    | 2458,33                           |   |

Sumber : Pengujian dan Perhitungan



**Gambar 4.9** Grafik batang berat volume balok beton ringan untuk tiap variasi



**Gambar 4.10** Hasil Regresi Hubungan Berat Volume dan Perbandingan Rasio Semen/Agregat

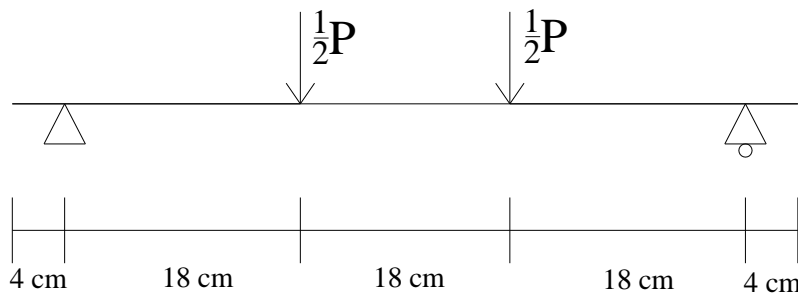
Pada benda uji balok dapat dilihat bahwa berat volume rata-rata pada tiap variasi berkisar antara 1600 – 1700 kg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan SNI beton ringan memiliki berat volume dibawah 1900 kg/m<sup>3</sup>, oleh karena itu beton ini termasuk dalam kategori beton ringan jika ditinjau dari berat volumenya. Dapat dilihat pada gambar 4.9 bahwa tiap variasi benda uji balok memiliki berat volume yang berbeda-beda. Beragamnya berat volume dari tiap benda uji disebabkan oleh faktor penyebaran agregat yang tidak merata pada saat pembuatan beton dilakukan.

#### 4.6 Analisis Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis

##### 4.6.1 Pemodelan Benda Uji

Pemodelan struktur dilakukan agar bisa mendapatkan nilai Pu teoritis yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang. Balok diletakkan di atas dua tumpuan dengan jarak 18 cm dari tumpuan ke beban yang bekerja dan 18 cm dari tumpuan lainnya.





#### 4.6.2 Kapasitas Geser

Untuk perhitungan beban maksimum kuat geser balok sangat dipengaruhi oleh luas profil beton, mutu beton dan mutu tulangan sengkang. Pada penelitian ini digunakan mutu bambu yang diambil dari nilai kuat tarik maksimum. Kuat geser balok beton bertulang merupakan penjumlahan dari kapasitas geser dengan kapasitas geser tulangan geser. Tahapan-tahapan perumusan kuat geser ditetapkan sebagai berikut:

##### a. Kapasitas Geser Beton

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c} \times b \times d}{6}$$

Dimana:

$V_c$  = Kuat geser (N)

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$b$  = Lebar balok (mm)

$d$  = Jarak dari tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)

##### b. Kapasitas Geser Tulangan

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

Dimana:

$V_s$  = Kuat Geser (N)

$A_v$  = Luas total tulangan sengkang (mm<sup>2</sup>)

$f_y$  = Kuat tarik bambu (MPa)

d = Jarak dari tekan terluar ke pusat rulangan tarik (mm)

s = Jarak antar sengkang

#### 4.6.3 Beban Vertikal Maksimum Teoritis

Berikut contoh perhitungan kapasitas geser teoritis dengan benda uji A1:

Diketahui:

$f'_c = 5,357 \text{ Mpa}$

$f_y \text{ bambu} = 0,153 \text{ Mpa}$

$L = 600 \text{ mm}$

$b = 150 \text{ mm}$

$h = 200 \text{ mm}$

$d' = 30 \text{ mm}$

$d = h - d' = 200 - 30 = 170 \text{ mm}$

$s = 180 \text{ mm}$

Tegangan Geser Beton:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c} \times b \times d}{6} = \frac{\sqrt{5,357} \times 150 \times 170}{6} = 9836,524$$

Tegangan geser tulangan geser:

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{(2 \times 50) \times 0,153 \times 170}{180} = 14,450$$

Tegangan geser nominal:

$$V_n = V_c + V_s = 9836,534 \text{ N} + 14,450 \text{ N} = 9850,974$$

Beban Geser :

$$V_u = V_n$$

$$\frac{1}{2} P = V_n$$

$$\frac{1}{2} P = 9850,974$$

$$P = 19701,948 = 1,970 \text{ ton}$$

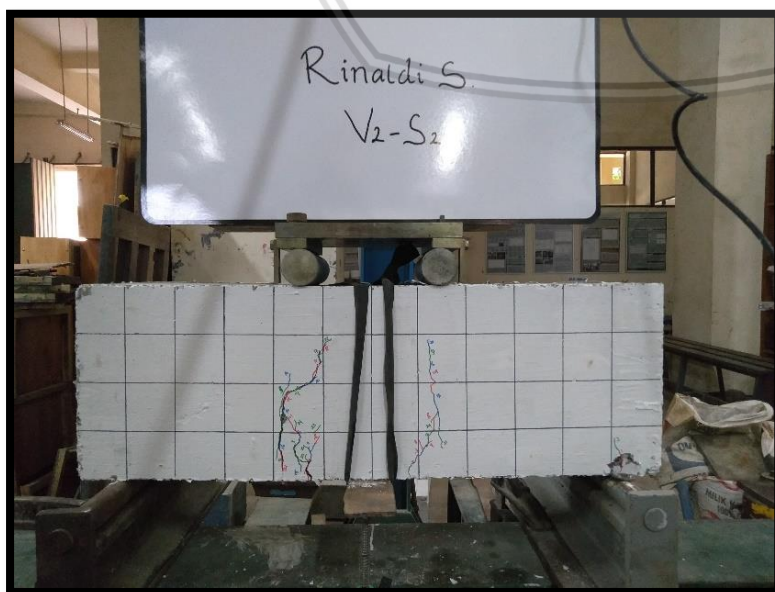
**Tabel 4.13** Hasil Perhitungan Kapasitas Geser Teoritis

| No | Variasi | $f_c$ (Mpa) | $f_y$ bambu (Mpa) | $P_u$ Maksimum Geser (kg) |
|----|---------|-------------|-------------------|---------------------------|
| 1  | A       | 5,357       | 0,153             | 1970,19                   |
| 2  | B       | 6,219       | 0,153             | 2122,58                   |
| 3  | C       | 5,989       | 0,153             | 2083,05                   |

Sumber : Hasil Perhitungan

#### 4.6.4 Hasil Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal

Pelaksanaan pengujian pada benda uji balok terhadap beban vertikal dilaksanakan pada beton yang berumur 28 hari berdasarkan dengan prosedur yang telah dijelaskan pada bab III. Balok dengan ukuran 15 cm x 20 cm x 60 cm diberikan beban dengan menggunakan *hydraulic jack* yang disalurkan ke *load cell* dengan kapasitas maksimum 10 ton dan beban disebarkan ke balok dengan tahapan beban sebesar 50 kg. Sebelum melakukan pengujian dilakukan *setting* alat pengujian sesuai dengan prosedur. Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah besarnya lendutan yang terjadi pada balok yang didapat dari pembacaan LVDT dan beban yang bekerja, serta menganalisis pola retak balok tersebut.



Gambar 4.11 Pemodelan Pembebanan Struktur

**Tabel 4.14** Hasil Perbandingan antara Beban Maksimum Teoritis dengan Aktual Beton Ringan

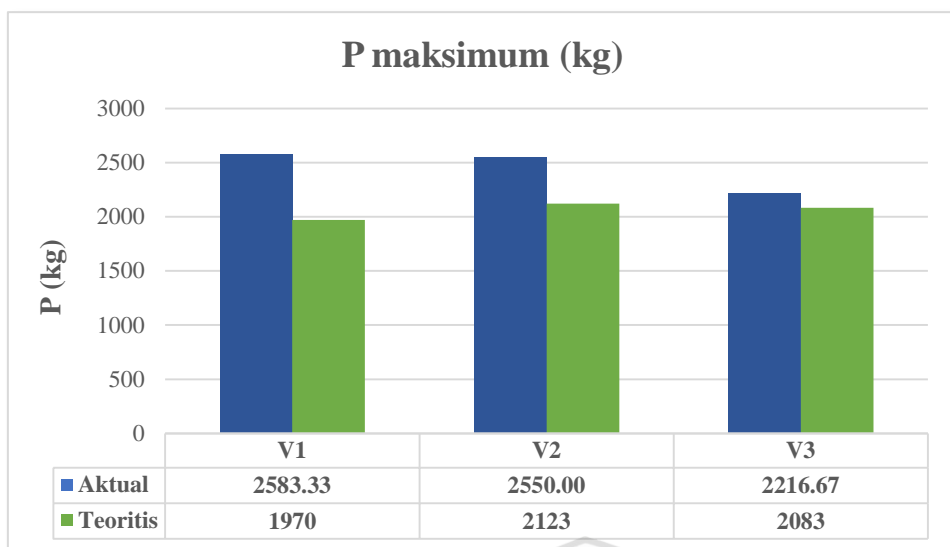
| No | Benda Uji | P (kg) |                  |          | KR %  |
|----|-----------|--------|------------------|----------|-------|
|    |           | Aktual | Rata-Rata Aktual | Teoritis |       |
| V1 | 1         | 2800   |                  |          |       |
|    | 2         | 2450   | 2583,33          | 1970     | 23,74 |
|    | 3         | 2500   |                  |          |       |
| V2 | 1         | 2550   |                  |          |       |
|    | 2         | 2650   | 2550,00          | 2123     | 16,74 |
|    | 3         | 2450   |                  |          |       |
| V3 | 1         | 2300   |                  |          |       |
|    | 2         | 2350   | 2216,67          | 2083     | 6,03  |
|    | 3         | 2000   |                  |          |       |

*Sumber : Hasil Perhitungan*

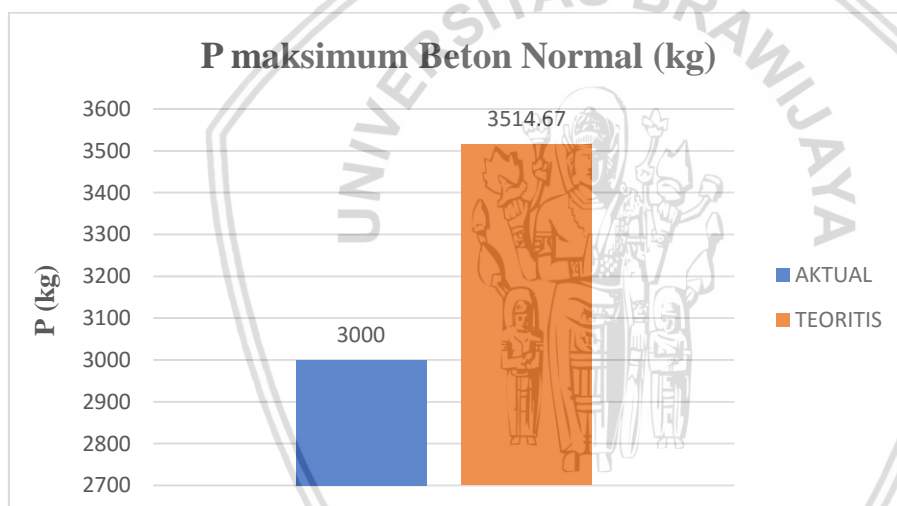
**Tabel 4.15** Hasil Perbandingan antara Beban Maksimum Teoritis dengan Aktual Beton Normal

| No | Benda Uji | P (kg) |                  |          | KR %  |
|----|-----------|--------|------------------|----------|-------|
|    |           | Aktual | Rata-Rata Aktual | Teoritis |       |
| BN | 1         | 2700   |                  |          |       |
|    | 2         | 3150   | 3000             | 3514,67  | 14,64 |
|    | 3         | 3150   |                  |          |       |

*Sumber : Hasil Perhitungan*

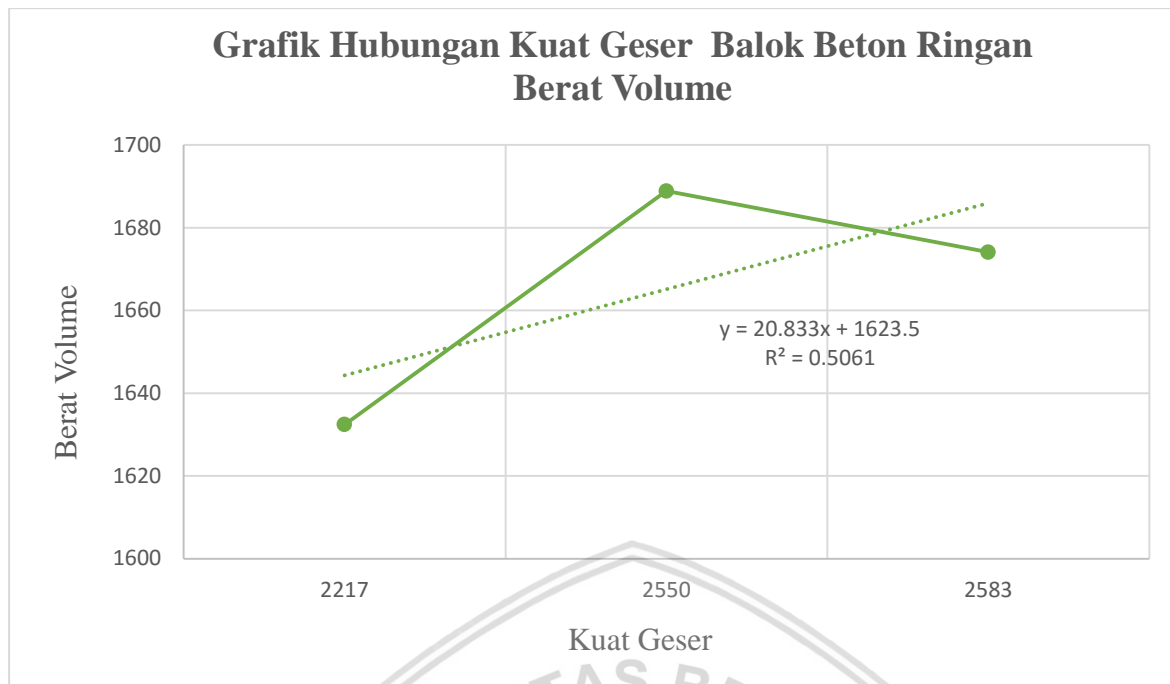


Gambar 4.12 Grafik Batang Perbandingan P maksimum Teoritis dan Aktual Beton Plastik

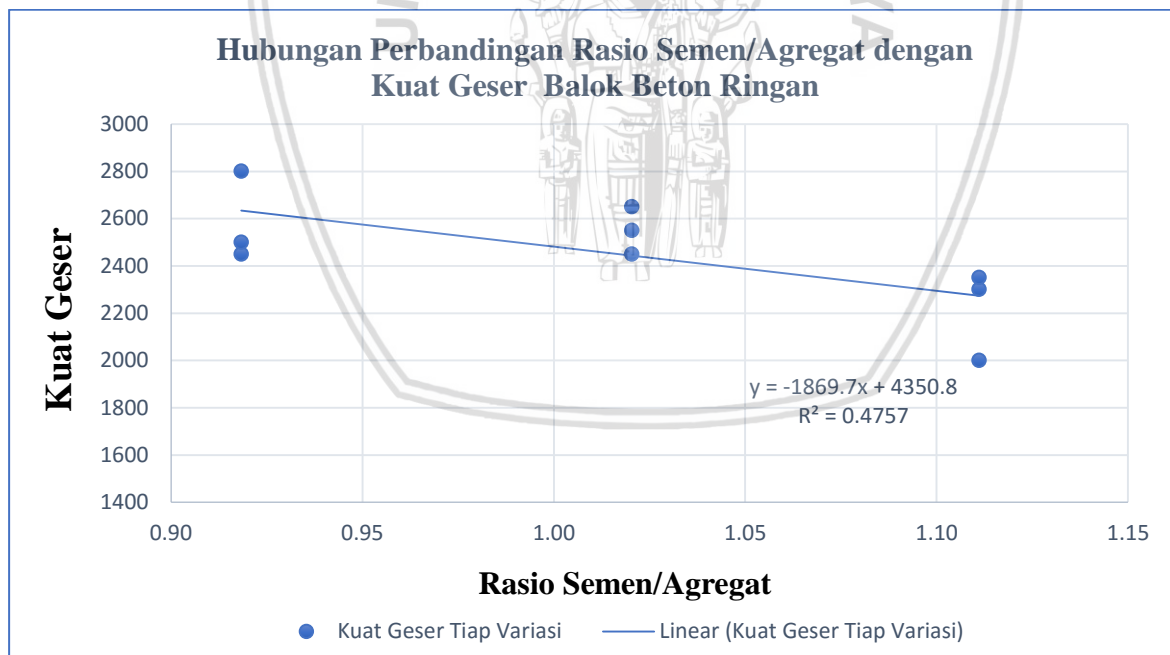


Gambar 4.13 Grafik Batang Perbandingan P maksimum Teoritis dan Aktual Beton Normal

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan beban maksimum teoritis lebih kecil daripada hasil beban maksimum eksperimen. Perbedaan yang terbesar antara hasil beban maksimum teoritis dan eksperimen geser terjadi pada benda uji Variasi 1 sebesar 613,33 kg. Nilai kuat geser didapatkan dari penjumlahan kuat geser beton dan kuat geser tulangan geser. Nilai beban maksimum aktual yang didapatkan berkisar antara 2000 – 3000 kg, perbedaan antara nilai beban maksimum teoritis dan eksperimen tidak begitu signifikan pada tiap variasi, dikarenakan mutu beton yang didapatkan pada saat pengujian tekan juga menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan pada tiap variasinya.



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Kuat Lentur Rata-Rata dan Berat Volume Rata-Rata



Gambar 4.15 Hasil Regresi Hubungan Kuat Geser dan Perbandingan Rasio Semen/Agregat

Pada gambar 4.15 terdapat regresi perbandingan rasio semen/agregat dengan kuat geser balok beton ringan. Dari grafik diketahui  $R^2 < 1$  yaitu sebesar 0,4757. Sehingga  $R^2$



yang dihasilkan dari persamaan regresi memiliki keeratan yang cukup terhadap data percobaan dari penelitian ini.

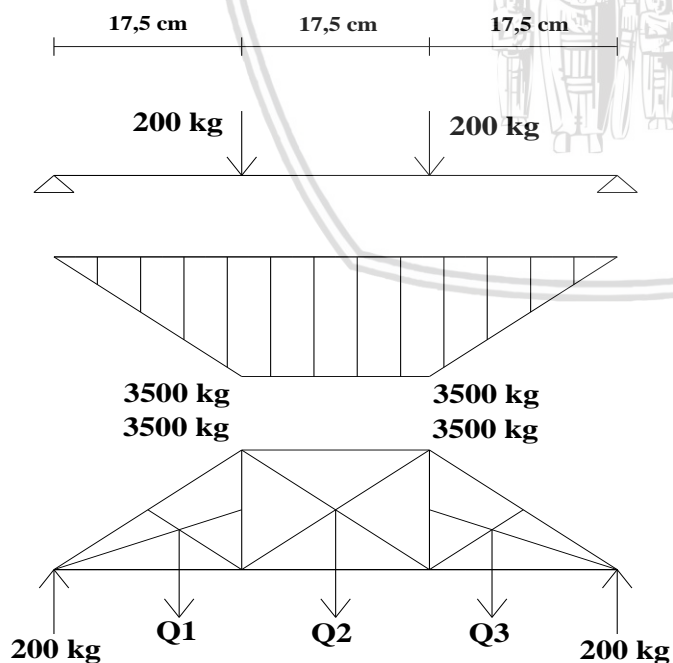
## 4.7 Analisis Lendutan Balok Uji

### 4.7.1 Teoritis

Untuk memperoleh nilai lendutan teoritis pada balok beton bertulang, digunakan perhitungan dengan menggunakan *conjugate beam*. Perhitungan *conjugate beam* diawali dengan mencari nilai momen di seluruh bentang balok yang kemudian momen tersebut diperlakukan sebagai beban. nilai P yang diambil yaitu pada saat beban 400 kg, karena pada saat beban 400 kg semua benda uji masih dalam kondisi elastis karena lendutan pada aktual masih mendekati nilai 0 sehingga masih bisa dikatakan kondisi elastis. Pada contoh perhitungan digunakan P pada benda uji variasi 1 yaitu sebesar 400 kg dan di dapat nilai  $R_a = R_b = 1/2 (400) = 200$  kg.

#### Analisi Lendutan Teoritis

##### Variasi 1



#### Mencari nilai momen dan Q

$$\begin{aligned}
 M &= R_a \times 17,5 \\
 &= 3500 \quad \text{kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= \frac{1}{2} \times 17,5 \times M \\
 &= 30625 \quad \text{kgcm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= (L - (2 \times 17,5)) \times M \\
 &= 61250 \quad \text{kgcm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= \frac{1}{2} \times 17,5 \times M \\
 &= 30625 \quad \text{kgcm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_a' = R_b' &= (Q_1 + Q_2 + Q_3) / 2 \\
 &= 61250 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_e &= R_a' \times 17,5 - Q_1 \times 17,5 / 3 - \frac{1}{2} \times Q_2 \times (L - 2 \times 17,5) / 4 \\
 &= 7592447,917 \quad \text{Kgcmm}^3
 \end{aligned}$$

Berikut contoh perhitungan lendutan teoritis Variasi 2:

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$f'_c = 62,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{15 \cdot 20^3}{12} = 10000 \text{ cm}^4$$

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{62,2} = 37067,479$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan} &= \frac{M_e}{EI} = \frac{R_a' \times 17,5 - Q_1 \times 17,5 / 3 - \frac{1}{2} \times Q_2 \times (L - 2 \times 17,5) / 4}{(37067,479)(10000)} \\
 &= 0,0204 \text{ cm} = 0,204 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan lendutan teoritis untuk benda uji variasi 1 dengan mutu beton  $62,2 \text{ kg/cm}^2$  yaitu 0,204 mm. Dengan cara yang sama seperti diatas,

dapat dicari lendutan teoritis untuk benda uji yang lain. Untuk hasil perhitungan lendutan teoritis dapat dilihat pada Tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Lendutan Teoritis Balok dengan Metode *Conjugate Beam*

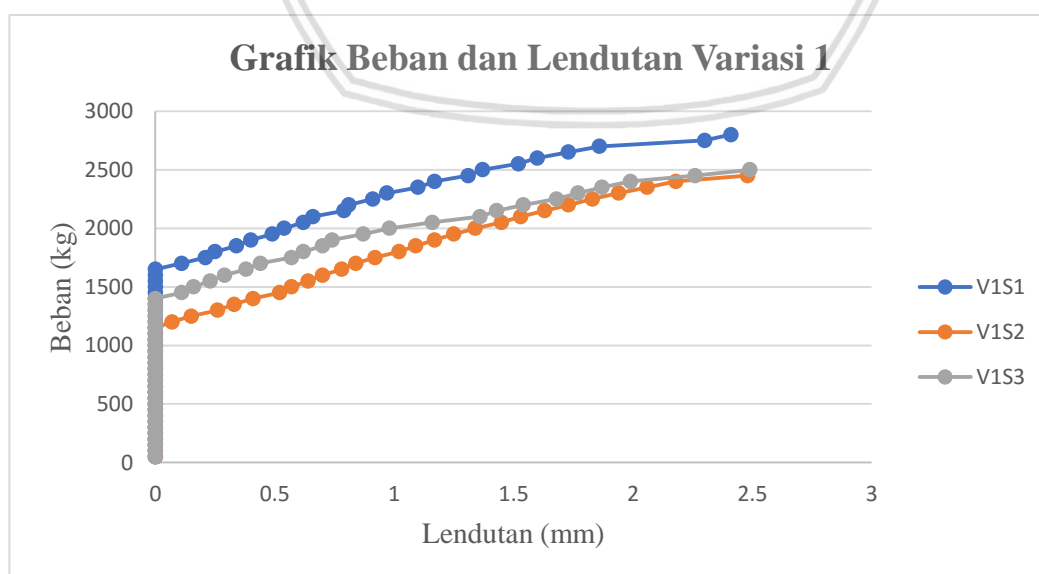
| Benda Uji | P pada Kondisi Elastis (kg) | Lendutan (mm) |
|-----------|-----------------------------|---------------|
| Variasi 1 | 1500                        | 0,827         |
| Variasi 2 | 400                         | 0,204         |
| Variasi 3 | 500                         | 0,260         |
| Normal    | 1000                        | 0.317         |

Sumber : Hasil Perhitungan

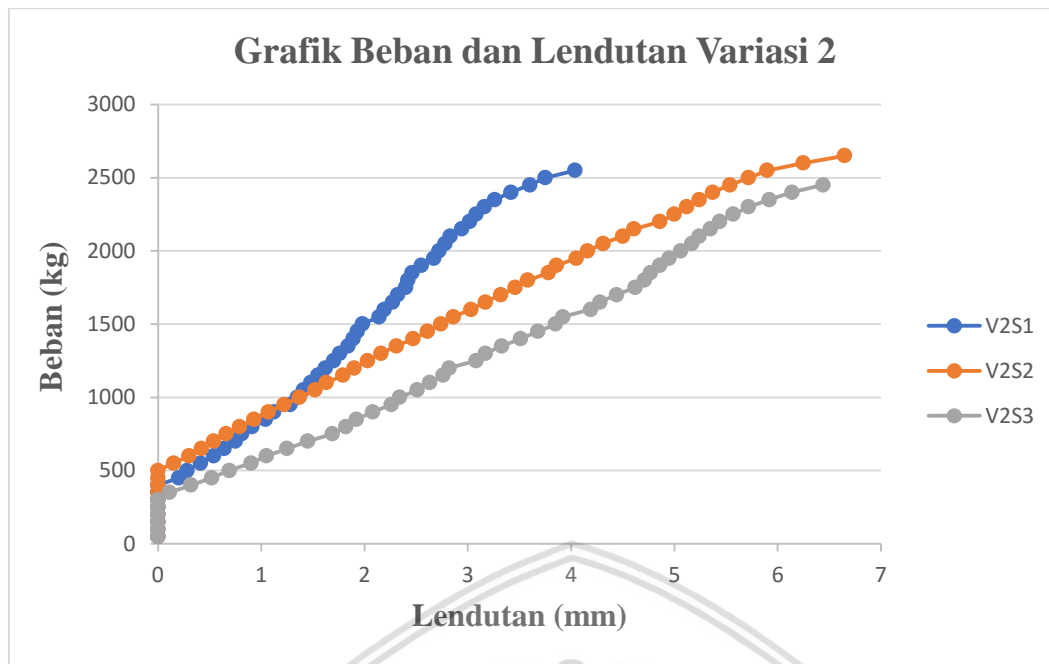
P elastis yang digunakan untuk perhitungan lendutan yaitu P elastis pada hasil hasil percobaan, sehingga didapatkan P elastis yang dapat dilihat pada tabel 4.16.

#### 4.7.2 Aktual

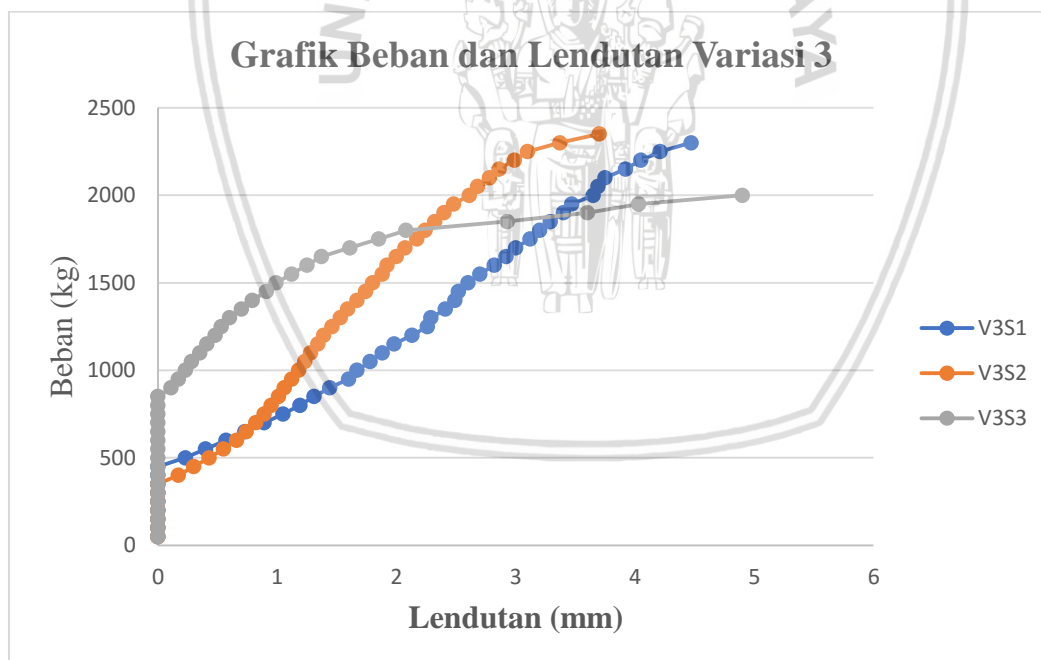
Lendutan aktual didapatkan dari hasil pengujian dimana pada saat beban (P) pada kondisi elastis. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.17.



Gambar 4.16 Grafik Beban – Lendutan Benda Uji Variasi 1



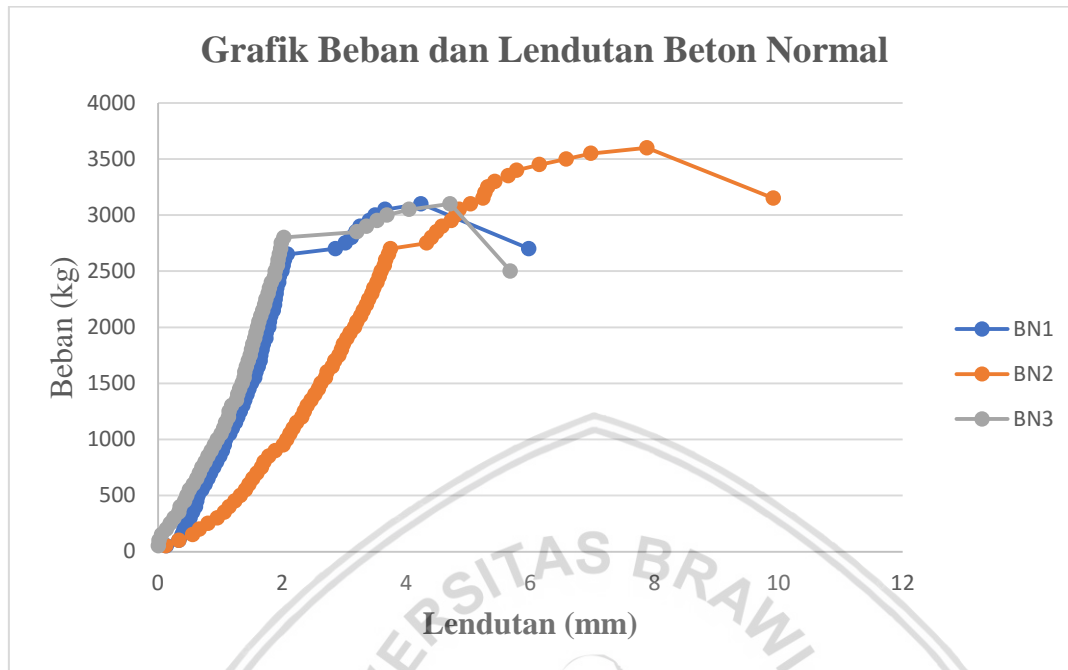
Gambar 4.17 Grafik Beban – Lendutan Benda Uji Variasi 2



Gambar 4.18 Grafik Beban – Lendutan Benda Uji Variasi 3

Pada garafik lendutan variasi I,II,III dapat dilihat bahwa besarnya lendutan yang terjadi dimulai pada beban 500 kg, hal ini disebabkan karena kesalahan pada saat pengujian dimana LVDT belum terpasang dengan benar, dial LVDT belum sepenuhnya

menyentuh plat plat pada balok, sehingga pada saat pembebanan belum mengalami lendutan.



Gambar 4.19 Grafik Beban – Lendutan Balok Beton Normal

**Tabel 4.17** Lendutan Aktual pada Benda Uji Balok

| Benda Uji | P pada Kondisi Elastis (kg) | Aktual (mm) | P maksimum (kg) | $\Delta$ maks (mm) |
|-----------|-----------------------------|-------------|-----------------|--------------------|
| Variasi 1 | 1500                        | 0,243       | 2583            | 2,460              |
| Variasi 2 | 400                         | 0,107       | 2250            | 5,710              |
| Variasi 3 | 500                         | 0,22        | 2216            | 4,357              |
| Normal    | 1000                        | 1,377       | 2783            | 7,193              |

Sumber : Pengujian dan Perhitungan

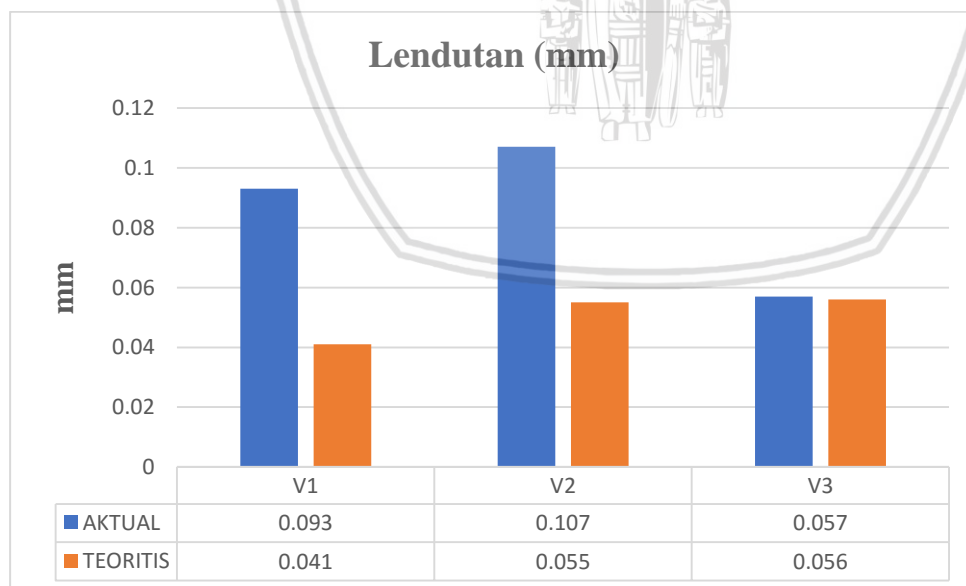
#### 4.7.3 Perbandingan Aktual dan Teoritis

Hasil analisis lendutan teoritis didapatkan dengan perhitungan *conjugate beam* sedangkan untuk lendutan aktual didapatkan dari hasil eksperimen. Perbandingan lendutan teoritis dan lendutan aktual dari masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Perbandingan Lendutan Teoritis dan Lendutan Aktual

| Benda Uji | P elastis (kg) | $\Delta$ Aktual pada saat P elastis (mm) | $\Delta$ Teoritis pada saat P elastis (mm) | KR %   |
|-----------|----------------|--|--|--------|
| Variasi 1 | 1500           | 0,243                                    | 0,827                                      | 70,617 |
| Variasi 2 | 400            | 0,107                                    | 0,204                                      | 47,549 |
| Variasi 3 | 500            | 0,220                                    | 0,260                                      | 15,384 |
| Normal    | 1000           | 1,377                                    | 0,317                                      | 76,978 |

Sumber : Pengujian dan Perhitungan



**Gambar 4.20** Grafik Batang Lendutan Teoritis dan Aktual Beton Ringan

Terdapat perbedaan hasil lendutan yang terjadi antara hasil teoritis dengan hasil eksperimen pada kondisi beban elastis. Perbedaan terbesar terjadi pada benda uji



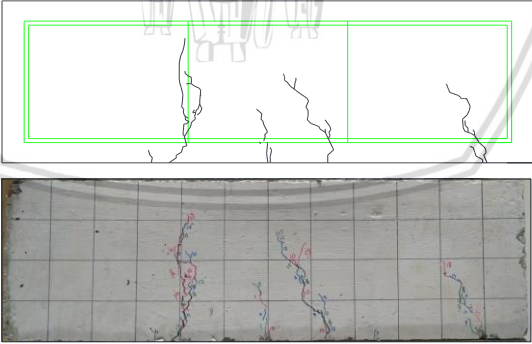
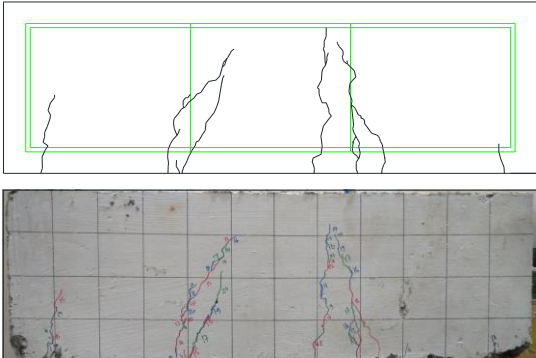
variasi 1 dengan lendutan teoritis sebesar 0,827 mm dan lendutan aktual sebesar 0,243 mm.

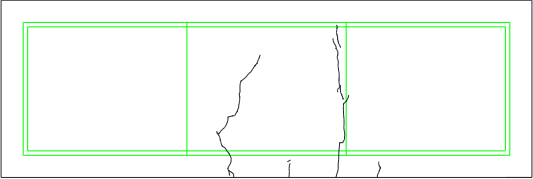
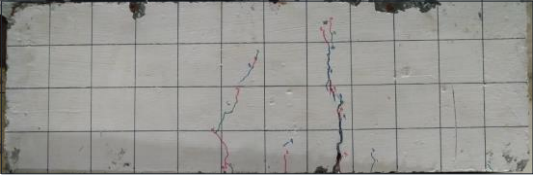
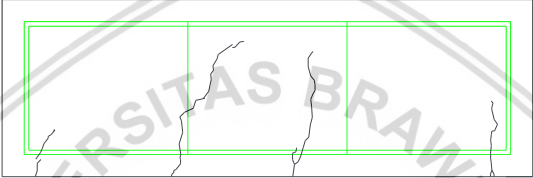
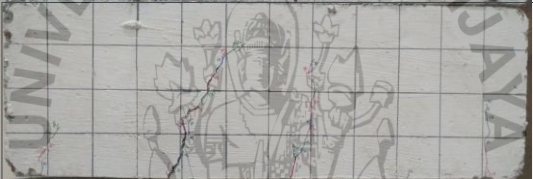
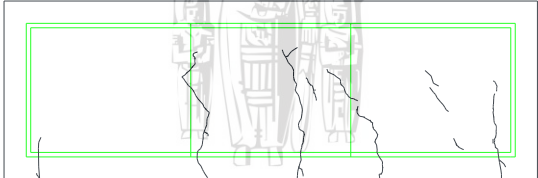
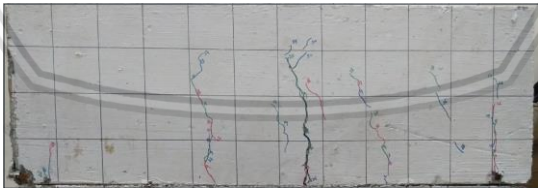
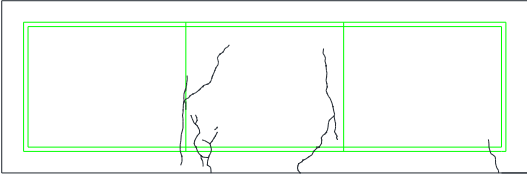
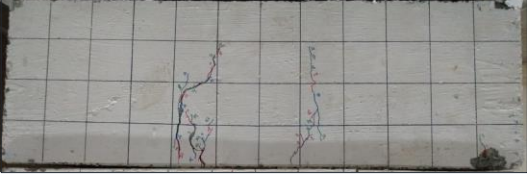
Pada saat pengujian balok terjadi kesalahan dalam pengujian, dimana LVDT belum terpasang dengan benar. *Dial* belum sepenuhnya menyentuh plat yang dipasang untuk mengambil data lendutan, akibatnya data yang dihasilkan tidak akurat, lendutan mulai terjadi pada beban 1000 kg, yang seharusnya pada beban awal sudah terjadi lendutan.

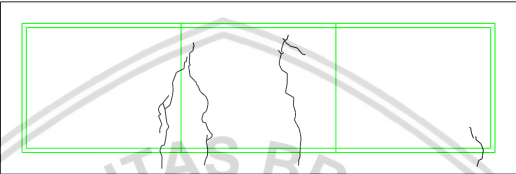
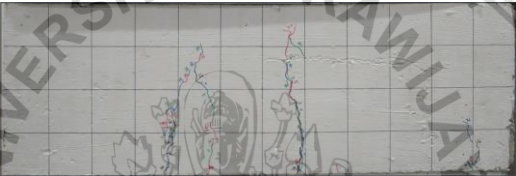
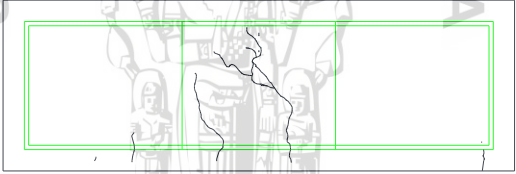

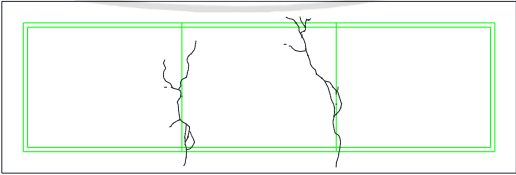
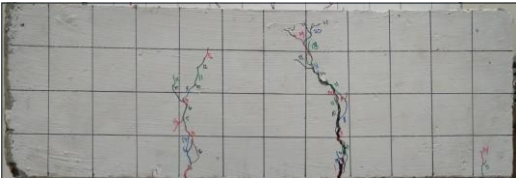
Perbedaan lendutan yang besar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah gaya-gaya luar yang bekerja, jarak antar sengkang yang tidak sesuai dengan perencanaan, mutu beton dan perhitungan secara teoritis mempunyai keterbatasan asumsi untuk menghasilkan persamaan suatu struktur (Chairyah dkk, 2014).

#### 4.8 Pola Retak Balok

**Tabel 4.19** Pola Retak dan Beban Maksimum

| Benda Uji | Pola Retak   | Pmaks (Kg) |
|-----------|--|------------|
| V1-S1     |  | 2800       |
| V1-S2     |  | 2450       |

| V1-S3     |       | 2500       |
|-----------|---|------------|
| Benda Uji | Pola Retak  | Pmaks (Kg) |
| V2-S1     |      | 2550       |
| V2-S2     |   | 2650       |
| V2-S3     |   | 2450       |

| Benda Uji | Pola Retak   | Pmaks (Kg) |
|-----------|--|------------|
| V3-S1     |    | 2300       |
|           |   |            |
| V3-S2     |  | 2350       |
|           |  |            |
| V3-S3     |  | 2000       |
|           |  |            |

Berdasarkan tabel 4.19 menunjukkan bahwa adanya pola retak yang diakibatkan oleh beban vertikal yang ditahan oleh balok. Ketika pembebanan awal belum terjadi keretakan, namun ketika terjadi peningkatan beban pada balok, balok akan mengalami retak secara terus menerus. Namun pola retak yang terjadi lebih dominan terjadinya retak lentur yang belum sesuai dengan desain awal yaitu retak geser. Retak awal pada balok rata-rata terjadi pada beban 1000 kg dan diawali dengan retak lentur.

#### 4.9 Uji Hipotesis Hasil Pengujian Kuat Geser

Uji hipotesis pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah variasi komposisi semen, agregat kasar batu bata pecah dan agregat halus limbah plastik berpengaruh pada kuat geser beton ringan.

Hipotesis dalam pengujian ini adalah :

- $H_0$  = Variasi komposisi semen, agregat kasar batu bata pecah dan agregat halus limbah plastik tidak memiliki pengaruh terhadap kuat geser beton ringan
- $H_1$  = Variasi komposisi semen, agregat kasar batu bata pecah dan agregat halus limbah plastik memiliki pengaruh terhadap kuat geser beton ringan

Pengujian hipotesis pada penelitian ini menggunakan analisis varian satu arah terhadap nilai kuat tarik belah beton ringan dengan variasi komposisi semen dan agregat 1.8 : 0.66 : 1.3, 2 : 0.66 : 1.3, dan 2 : 0.7 : 1.1. Kriteria dari pengujian ini adalah:

- Jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$  maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak
- Jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima

Hasil perhitungan uji hipotesis untuk kuat geser beton ringan dengan lima kali pengulangan dapat dilihat pada tabel 4.20.

**Tabel 4.20** Hasil Perhitungan Uji Hipotesis Kuat Geser Beton Ringan

| Variasi<br>Komposisi | Sampel        |                     |          | $\Sigma A_i$    | $A_j$    | A        | $A_j - A$                    |
|----------------------|---------------|---------------------|----------|-----------------|----------|----------|------------------------------|
|                      | 1             | 2                   | 3        |                 |          |          |                              |
| 1.8 : 0.66 : 1.3     | 2800          | 2450                | 2500     | 7750            | 2583,33  |          | 133,33                       |
| 2 : 0.66 : 1.3       | 2550          | 2650                | 2450     | 7650            | 2550,00  | 2450,000 | 100,00                       |
| 2 : 0.7 : 1.1        | 2300          | 2350                | 2000     | 6650            | 2216,67  |          | -233,33                      |
| Variasi<br>Komposisi | $(A_j - A)^2$ | $\Sigma(A_j - A)^2$ |          | $(A_i - A_j)^2$ |          |          | $\Sigma \Sigma(A_i - A_j)^2$ |
|                      |               |                     |          | 1               | 2        | 3        |                              |
| 1.8 : 0.66 : 1.3     | 17777,78      |                     | 46944,44 | 17777,78        | 6944,44  | 71666,67 |                              |
| 2 : 0.66 : 1.3       | 10000,00      | 82222,22            | 0,00     | 10000,00        | 10000,00 | 20000,00 | 163333,33                    |
| 2 : 0.7 : 1.1        | 54444,44      |                     | 6944,44  | 17777,78        | 46944,44 | 71666,67 |                              |

Pengujian hipotesis menggunakan distribusi Fisher. Data yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tingkat Signifikansi ( $\alpha$ ) : 5 %

Jumlah Variasi (c) : 3 variasi

Jumlah Sampel (n) : 3 sampel

$$df_1 = c - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$df_2 = c \times (n - 1) = 3 (3 - 1) = 6$$

Didapatkan nilai  $F_{\text{tabel}}$ :

$$F_{\alpha}(\text{df}_1, \text{df}_2) = F_{\text{kritis}}$$

$$F(2,6) = 5,14$$

Dari tabel 4.17 didapatkan hasil varian antar kelompok sebagai berikut :

$$S_x^2 = \frac{n \sum (\bar{A}_j - \bar{A})^2}{c-1} = \frac{3(82222,22)}{3-1} = 123333,33$$

Setelah mendapatkan nilai varian antar kelompok maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai varian dalam kelompok, kemudian mendapatkan  $F$  hitung.

$$S_w^2 = \frac{\sum_j \sum_i (\bar{A}_{ij} - \bar{A}_j)^2}{c(n-1)} = \frac{163333,33}{6} = 27222,22$$

$$F_{\text{hitung}} = \frac{S_x^2}{S_w^2} = \frac{82222,22}{27222,22} = 4,531$$

$$F_{\text{hitung}} (4,531) < F_{\text{tabel}} (5,14)$$

Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak. Dengan artian bahwa variasi komposisi semen, agregat kasar batu bata pecah dan agregat halus limbah plastik tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kuat geser balok beton ringan.

**Tabel 4.21** Tabel Anova Kuat Geser

| Sumber Variasi | Jumlah Kuadrat | Derajat Kebebasan | Rataan Kuadrat | $F_{\text{hitung}}$ | $F_{\text{tabel}}$ |
|----------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| Sumber Variasi | 246666,67      | 2                 | 123333,33      | 4,531               | 5,14               |
| Galat          | 163333,33      | 6                 | 27222,22       |                     |                    |
| Total          | 410000,00      | 8                 |                |                     |                    |





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbandingan komposisi antara semen , plastik, dan batu bata pada komposisi 1 yaitu 1,8 : 0,66, 1,33, komposisi 2 yaitu 2 : 0,66 : 1,33, dan komposisi 3 yaitu 2 : 0,7 : 1,1. Untuk komposisi 1 didapatkan kuat geser balok sebesar 1970,19 kg, komposisi 2 sebesar 2122,58 kg, dan komposisi 3 sebesar 2083,05 kg. Dapat disimpulkan bahwa komposisi 2 memiliki kuat geser yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi komposisi lainnya, namun perbedaan kuat geser yang dihasilkan pada tiap variasi komposisi tidak jauh berbeda, hal ini disebabkan karena rasio semen dan agregat yang sangat kecil, sehingga tidak berpengaruh besar terhadap kuat geser balok.

Berat Volume yang didapat pada penelitian ini pada komposisi 1 berat volume rata-rata sebesar  $1632,41 \text{ kg/m}^3$ , komposisi 2 sebesar  $1688,89 \text{ kg/m}^3$ , dan komposisi 3 sebesar  $1674,07 \text{ kg/m}^3$ . Sehingga berdasarkan SNI 03-2461-2002 tentang beton ringan bahwa dikatakan beton ringan struktural apabila berat volume beton  $< 1900 \text{ kg/m}^3$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis beton pada penelitian ini masuk dalam kriteria beton ringan, dikarenakan seluruh benda uji pada penelitian ini memiliki berat volume  $< 1900 \text{ kg/m}^3$ .

2. Pengaruh komposisi variasi semen dan agregat terhadap kekuatan pada balok bertulang bambu yang di dapat dari hasil pengujian dan perhitungan teoritis memiliki perbedaan hasil yang cukup besar terhadap beton normal. Beberapa penyebabnya karena nilai FAS yang lebih tinggi, material yang digunakan berbeda dengan beton normal yaitu material plastik, sehingga daya lekat dari masing-masing material belum maksimal karena memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Dengan menggunakan metode perhitungan statistik uji anova satu arah diketahui bahwa belum ada pengaruh komposisi rasio semen dan agregat terhadap kekuatan



3. balok, yang diakibatkan karena rasio semen yang digunakan antar variasi masih sangat kecil, sehingga tidak terlihat perbedaan yang signifikan.
4. Pola retak benda uji pada pembebanan awal belum terjadi keretakan, namun ketika terjadi peningkatan beban pada balok, balok mengalami retak secara terus menerus. Pola retak yang terjadi yaitu retak lentur geser .

## 5.2 Saran

Berikut ini merupakan beberapa saran-saran yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan :

1. Sangat disarankan untuk melakukan pretest untuk mengetahui kondisi campuran beton, dikarenakan pada penelitian ini tidak memiliki standar yang telah ditentukan seperti SNI.
2. Dalam penelitian ini hanya menggunakan tiga sampel benda uji karena keterbatasan material, maka dari itu, disarankan untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan sampel lebih dari tiga untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mengantisipasi peluang terjadinya data-data yang menyimpang.
3. Sangat disarankan untuk menentukan metode pemadatan terhadap benda uji yang sesuai dengan kondisi di lapangan agar mendapatkan hasil yang baik, dikarenakan proses pemadatan juga menentukan kekuatan balok.
4. Pada saat pemasangan/penyetingan benda uji sangat disarankan untuk memperhatikan dengan teliti agar sudah terpasang dengan baik seperti pemasangan LVDT, karena dapat mengakibatkan kesalahan dalam proses pengujian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, Renny. (2013). Pengaruh Pola Tulangan Geser Bambu Pada Pengujian Geser – Lentur Balok. Malang : Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Anung Suwarno, Sudarwono. (2015). Kajian Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Campuran Agregat Beton. Semarang : Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Semarang.
- Aulia, Rahmi. 2017. Pengaruh Rasio Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Dengan Klem Selang. Naskah Terpublikasi. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2461-2002 Spesifikasi adgregat ringan untuk beton ringan structural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 15-2094-2000 Bata merah pejal untuk pasangan dinding*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. (2014). *SNI 0302:2014 Semen portland pozolan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I. -2*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Fahrina, Ria. 2014. Pemanfaatan Bambu Betung Bangka Sebagai Pengganti Tulangan Balok Beton Bertulangan Bambu. Jurnal Fropil, Vol. 2 No.1, Januari-Juli 2014, Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung.
- Faris, Faisal, Nindyawati, dan Karjanto, Adjib. 2016. Kapasitas Geser Balok Tinggi Beton Bertulang Bambu Dengan Variasi Jenis Bahan Sengkang Besi dan Bambu. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang.
- Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. *Petunjuk Praktikum Teknologi Beton*. Malang: Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Mulyono, Tri. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET
- Nawy, E.G. 1998. *Beton Bertulang— Suatu Pendekatan Dasar*. Cetakan II. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Nurlina, Siti. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media
- Tjokrodimulyo. (2004). *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta. Yogyakarta : Universitas Gadjahmada.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*







## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Tabel 1. Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

| Nomor Contoh                           |    |      | A     | B   | C     | D     | E     |
|--|----|------|-------|-----|-------|-------|-------|
| Berat benda uji kering permukaan jenuh | Bj | (gr) | 648.8 | 644 | 650.4 | 647.6 | 630.8 |
| Berat benda uji kering oven            | Bk | (gr) | 500   | 500 | 500   | 500   | 500   |
| Berat benda uji dalam air              | Ba | (gr) | 293.5 | 291 | 293   | 295   | 286   |

| Nomor Contoh  |                 | A     | B     | C     | D     | E     |
|---|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Berat Jenis Curah<br>(Bulk Specific Gravity)  | Bk/(Bj-Ba)      | 1.407 | 1.42  | 1.40  | 1.42  | 1.45  |
| Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh<br>(Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry) | Bj/(Bj-Ba)      | 1.83  | 1.824 | 1.82  | 1.84  | 1.83  |
| Berat Jenis Semu<br>Apparent Specific Gravity)                                      | Bk/(Bk-Ba)      | 2.42  | 2.39  | 2.415 | 2.44  | 2.34  |
| Penyerapan (%) (Absorption)   | (Bj-Bk)/Bkx100% | 29.76 | 28.80 | 30.08 | 29.52 | 26.16 |
| Rata-rata Penyerapan (%)  |                 | 28.86 |       |       |       |       |

### Lampiran 2 Berat Isi Agregat Kasar

Tabel 2. Hasil Perhitungan Berat Isi Agregat Kasar

|   |                                   |         |               |                 |
|---|-----------------------------------|---------|---------------|-----------------|
| 1 | Berat takaran                     | (gr)    | 1059.20       | 1059.20         |
| 2 | Berat takaran + air               | (gr)    | 3093          | 3093            |
| 3 | Berat air = (2)-(1)               | (gr)    | 2033.80       | 2033.80         |
| 4 | Volume air = (3)/(1)              | (cc)    | 1.9201        | 1.9201          |
|   | <b>CARA</b>                       |         | <b>RODDED</b> | <b>SHOVELED</b> |
| 5 | Berat Takaran                     | (gr)    | 1059.2        | 1059.2          |
| 6 | Berat takaran + benda uji         | (gr)    | 2735          | 2617.4          |
| 7 | Berat benda uji = (6)-(5)         | (gr)    | 1675.8        | 1558.2          |
| 8 | Berat isi agregat halus = (7)/(4) | (gr/cc) | 872.754       | 811.508         |
| 9 | Berat isi agregat kasar rata-rata | (gr/cc) | 842.13        |                 |

### Lampiran 3 Kadar Air Agregat Kasar

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kadar Air Agregat Kasar

| Nomor Talam |                               | A    | B      |
|-------------|-------------------------------|------|--------|
| 1           | Berat Talam + Contoh basah    | (gr) | 734.60 |
| 2           | Berat Talam + Contoh kering   | (gr) | 719.50 |
| 3           | Berat Air = (1)-(2)           | (gr) | 15.10  |
| 4           | Berat Talam                   | (gr) | 74.40  |
| 5           | Berat Contoh Kering = (2)-(4) | (gr) | 645.10 |
| 6           | Kadar Air = (3)/(5)           | (%)  | 2.3407 |
| 7           | Kadar Air rata-rata           | (%)  | 1.6773 |

#### Lampiran 4 Perancangan Campuran Beton

Tabel 4. Kebutuhan Material Untuk 1 Benda Uji Tanpa Penambahan

| Variasi Komposisi | Benda Uji | Semen | Plastik | Batu Bata | Air   | Abu Sekam |
|-------------------|-----------|-------|---------|-----------|-------|-----------|
|                   |           | (kg)  | (kg)    | (kg)      | (kg)  | (kg)      |
| 1,8 : 0,66 : 1,3  | Silinder  | 2.826 | 1.0362  | 2.041     | 1.978 | 0.5652    |
|                   | Balok     | 7.2   | 2.64    | 5.2       | 5.04  | 1.44      |
| 2 : 0,66 : 1,3    | Silinder  | 3.14  | 1.0362  | 2.041     | 2.198 | 0.628     |
|                   | Balok     | 8.0   | 2.64    | 5.2       | 5.6   | 1.6       |
| 2 : 0,7 : 1,1     | Silinder  | 3.14  | 1.099   | 1.727     | 2.198 | 0.628     |
|                   | Balok     | 8     | 2.8     | 4.4       | 5.6   | 1.6       |

Tabel 5. Kebutuhan Material Untuk 1 Benda Uji dengan Penambahan 20%

| Variasi Komposisi | Benda Uji | Semen | Plastik | Batu Bata | Air   | Abu Sekam |
|-------------------|-----------|-------|---------|-----------|-------|-----------|
|                   |           | (kg)  | (kg)    | (kg)      | (kg)  | (kg)      |
| 1,8 : 0,66 : 1,3  | Silinder  | 3.391 | 1.243   | 2.4492    | 2.374 | 0.678     |
|                   | Balok     | 8.64  | 3.168   | 6.24      | 6.048 | 1.728     |
| 2 : 0,66 : 1,3    | Silinder  | 3.768 | 1.243   | 2.4492    | 2.638 | 0.755     |
|                   | Balok     | 9.6   | 3.168   | 6.24      | 6.72  | 1.92      |
| 2 : 0,7 : 1,1     | Silinder  | 3.768 | 1.319   | 2.0724    | 2.638 | 0.754     |
|                   | Balok     | 9.6   | 3.36    | 5.28      | 6.72  | 1.92      |

Tabel 6. Kebutuhan Material Untuk 5 Benda Uji dengan Penambahan 20%

| Variasi Komposisi | Benda Uji | Semen | Plastik | Batu Bata | Air   | Abu Sekam |
|-------------------|-----------|-------|---------|-----------|-------|-----------|
|                   |           | (kg)  | (kg)    | (kg)      | (kg)  | (kg)      |
| 1,8 : 0,66 : 1,3  | Silinder  | 16.96 | 1.49    | 2.94      | 2.85  | 0.81      |
|                   | Balok     | 10.37 | 3.80    | 7.49      | 7.26  | 2.07      |
| 2 : 0,66 : 1,3    | Silinder  | 4.52  | 1.49    | 2.94      | 3.17  | 0.90      |
|                   | Balok     | 11.52 | 3.80    | 7.49      | 8.06  | 2.30      |
| 2 : 0,7 : 1,1     | Silinder  | 4.52  | 1.58    | 2.49      | 3.17  | 0.90      |
|                   | Balok     | 11.52 | 4.03    | 6.34      | 8.06  | 2.30      |
| Total             |           | 59.41 | 16.20   | 29.68     | 32.56 | 9.30      |

## Lampiran 5 Dokumentasi Pekerjaan Pembuatan Beton Plastik



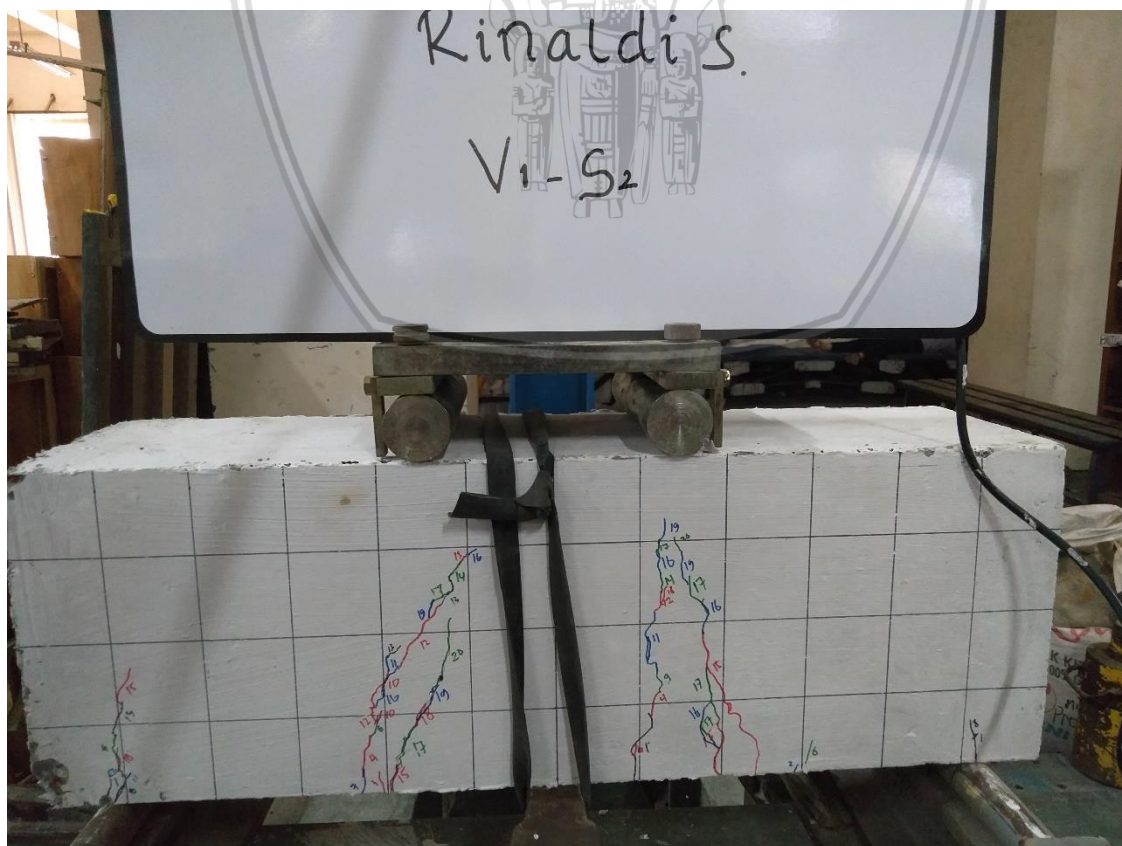
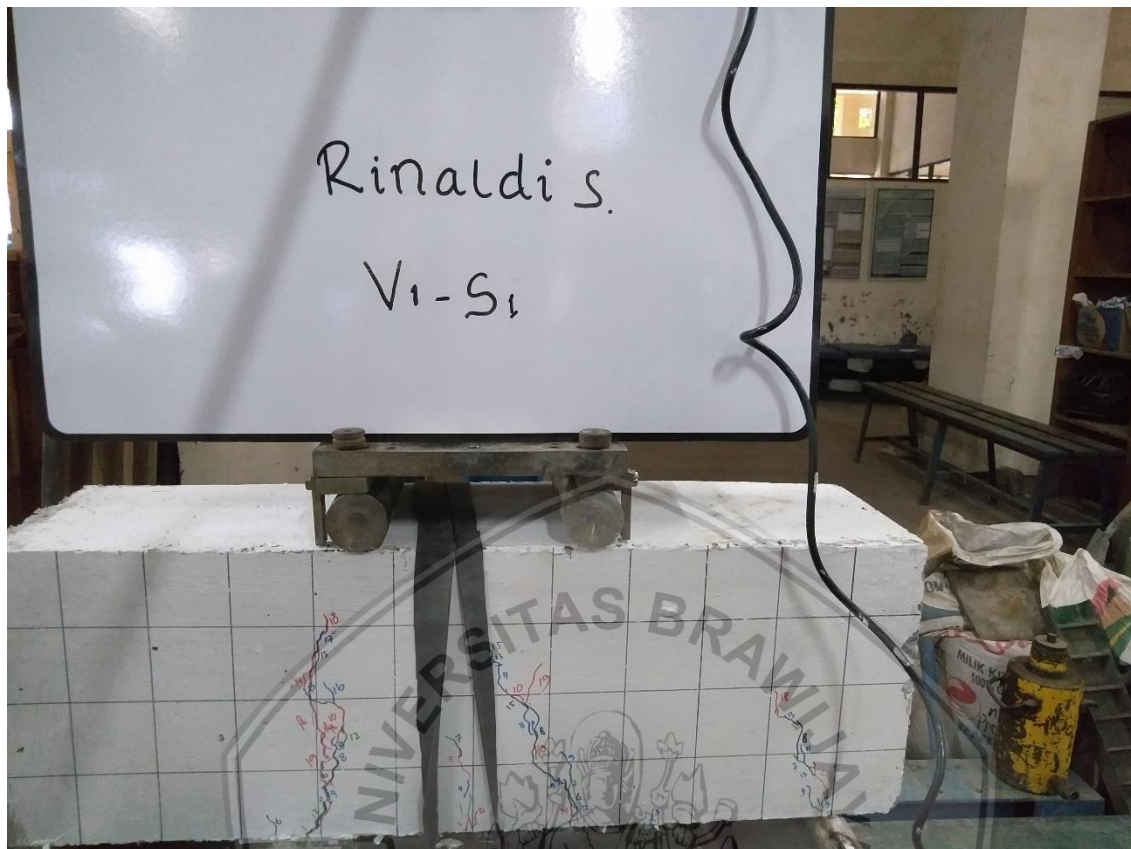


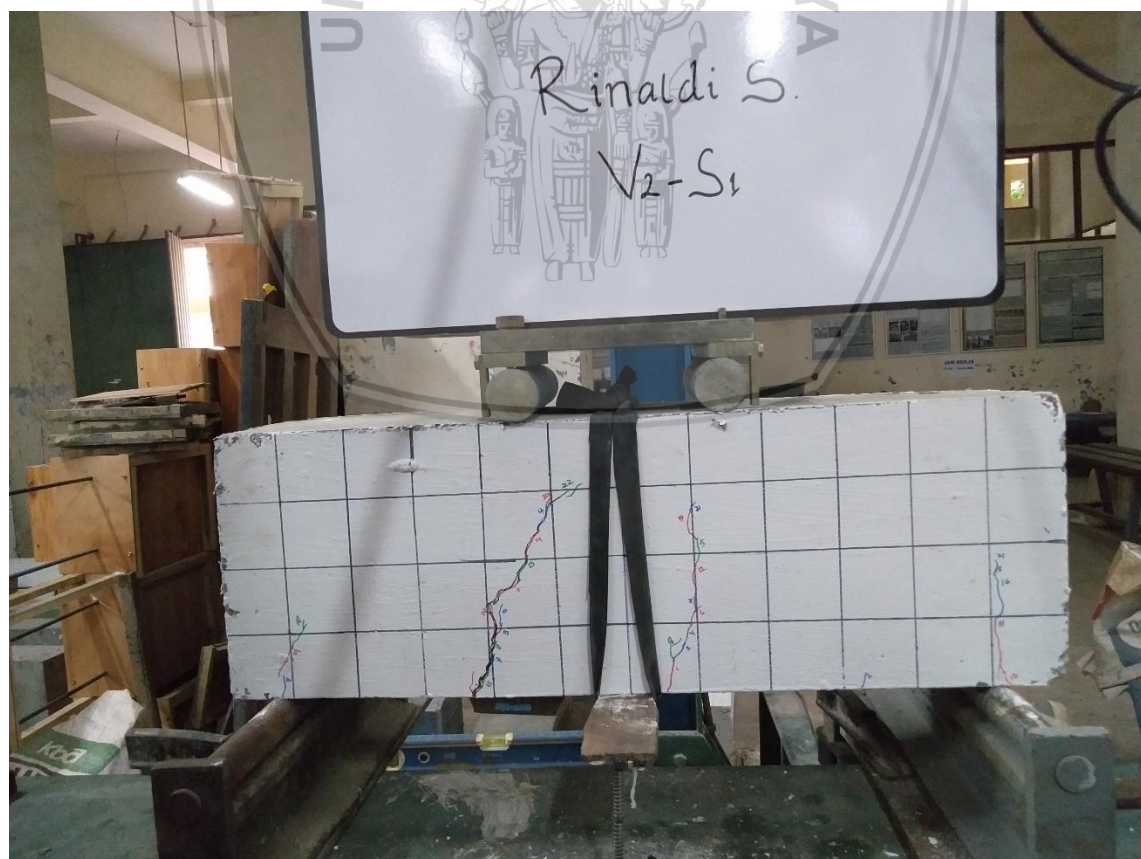
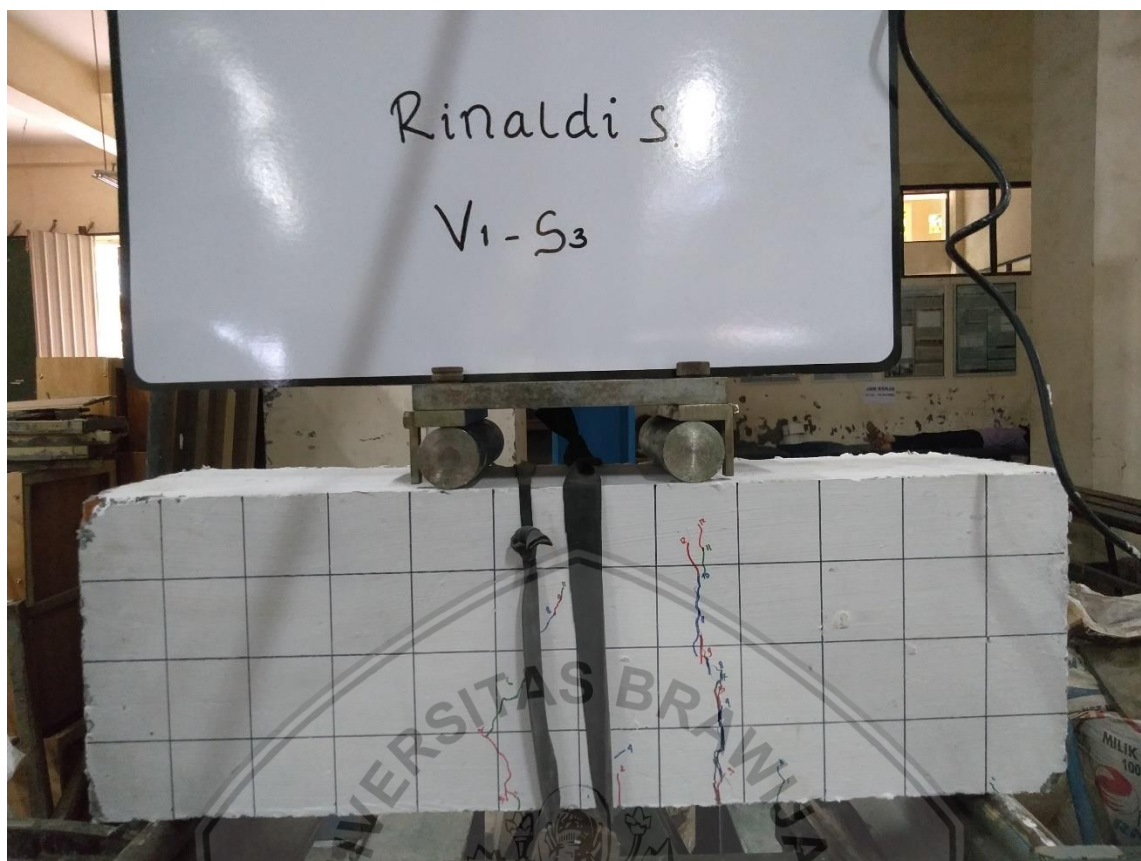




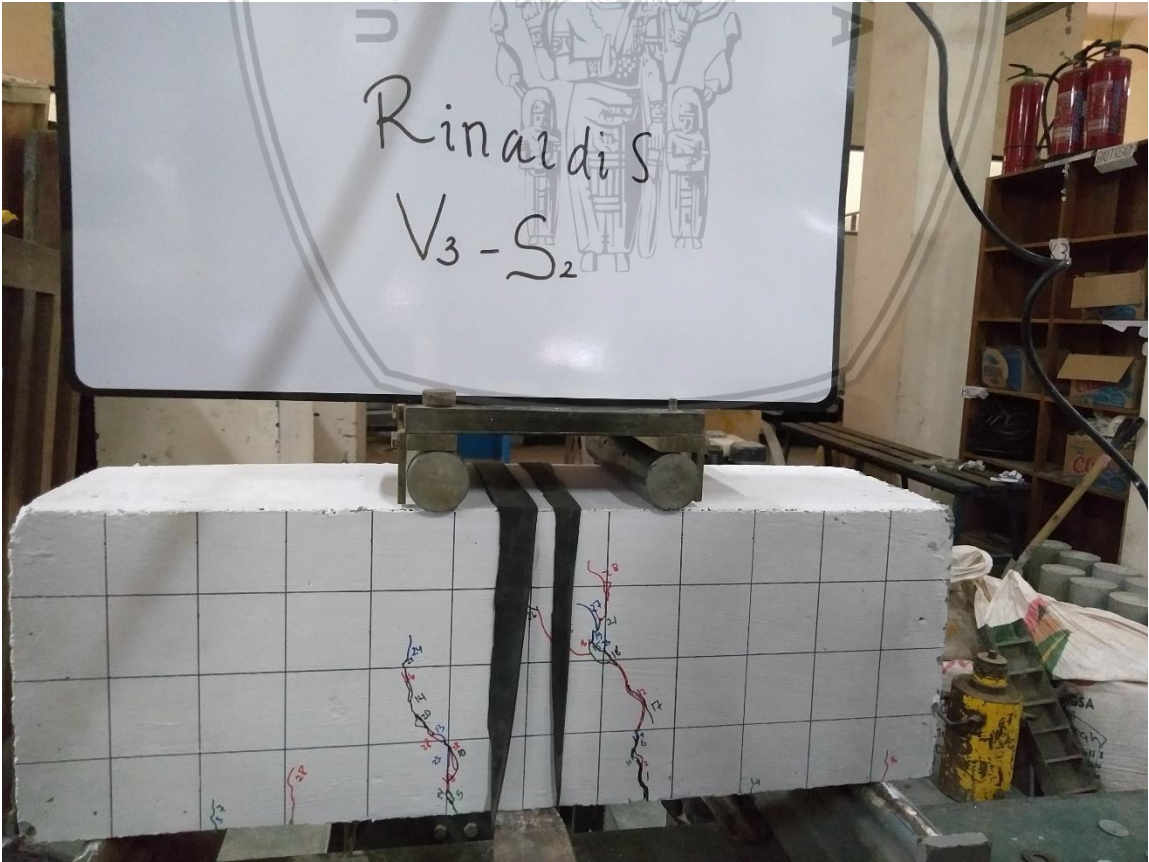
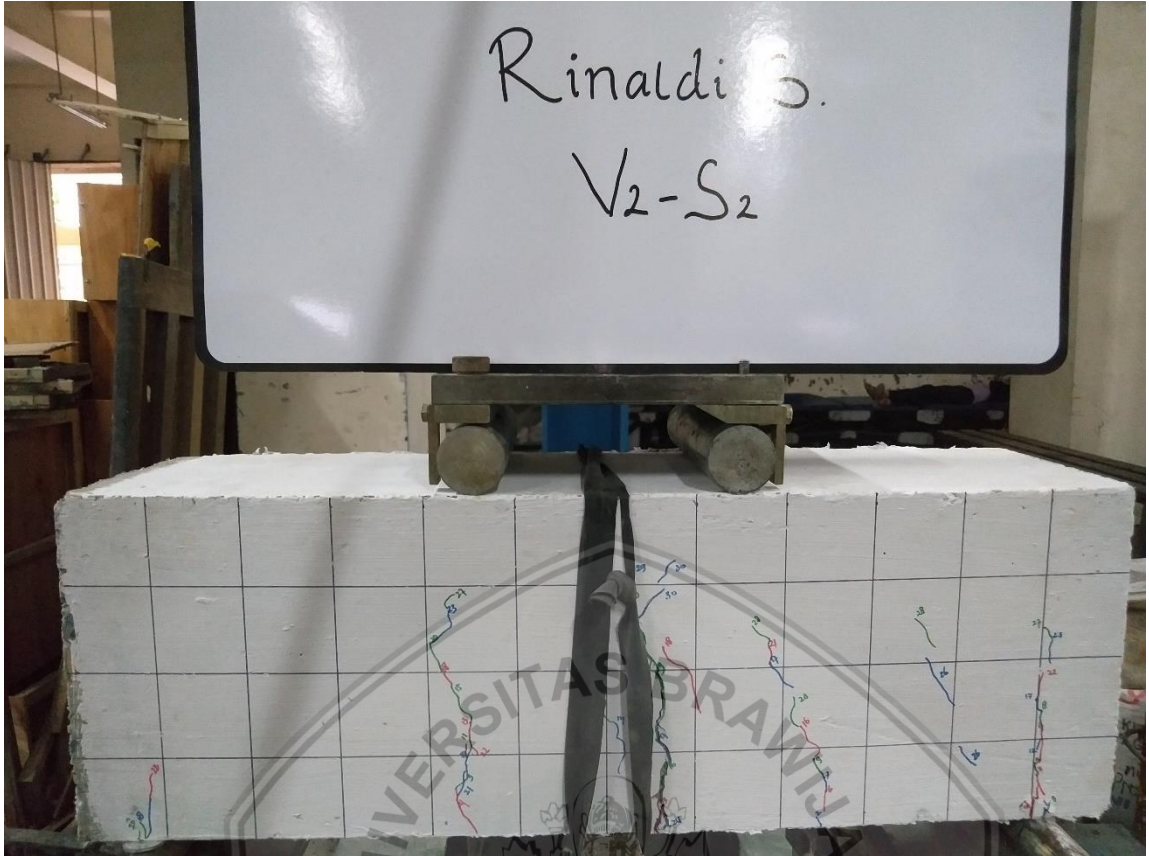


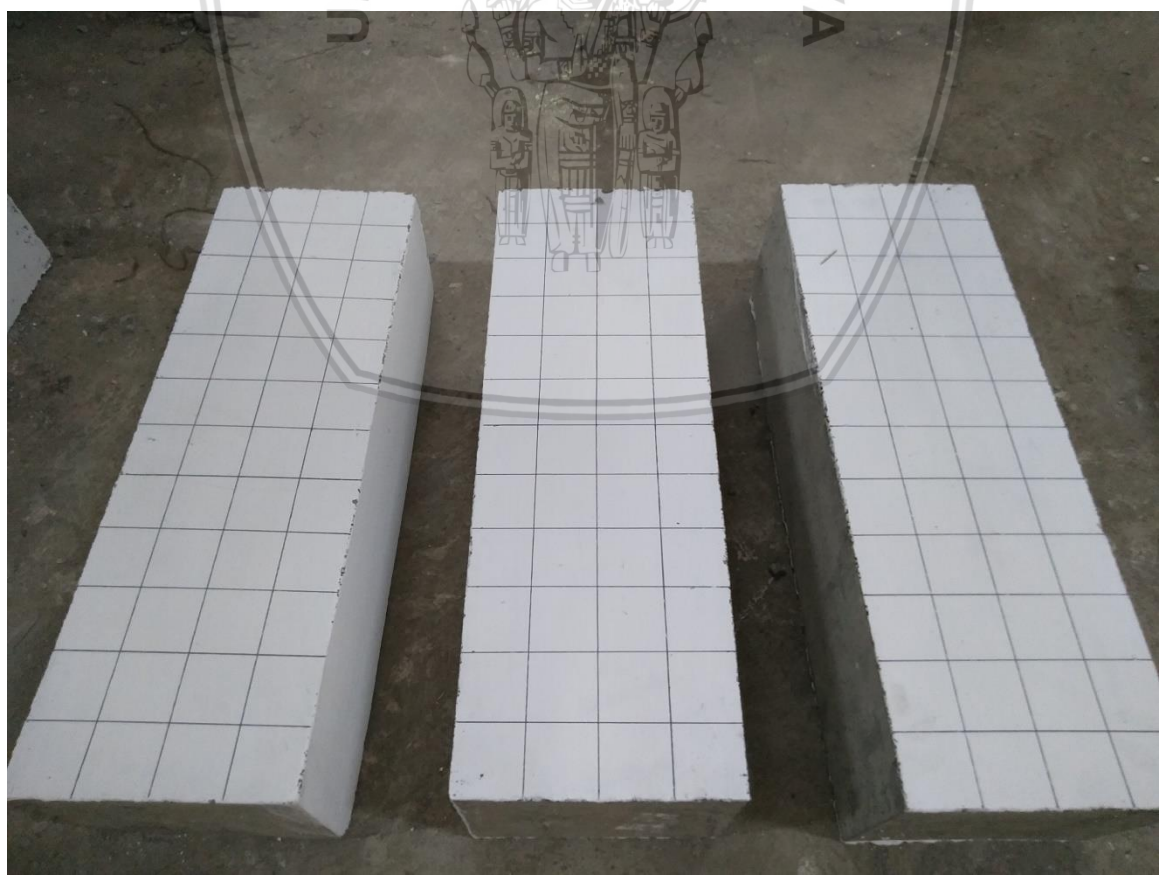
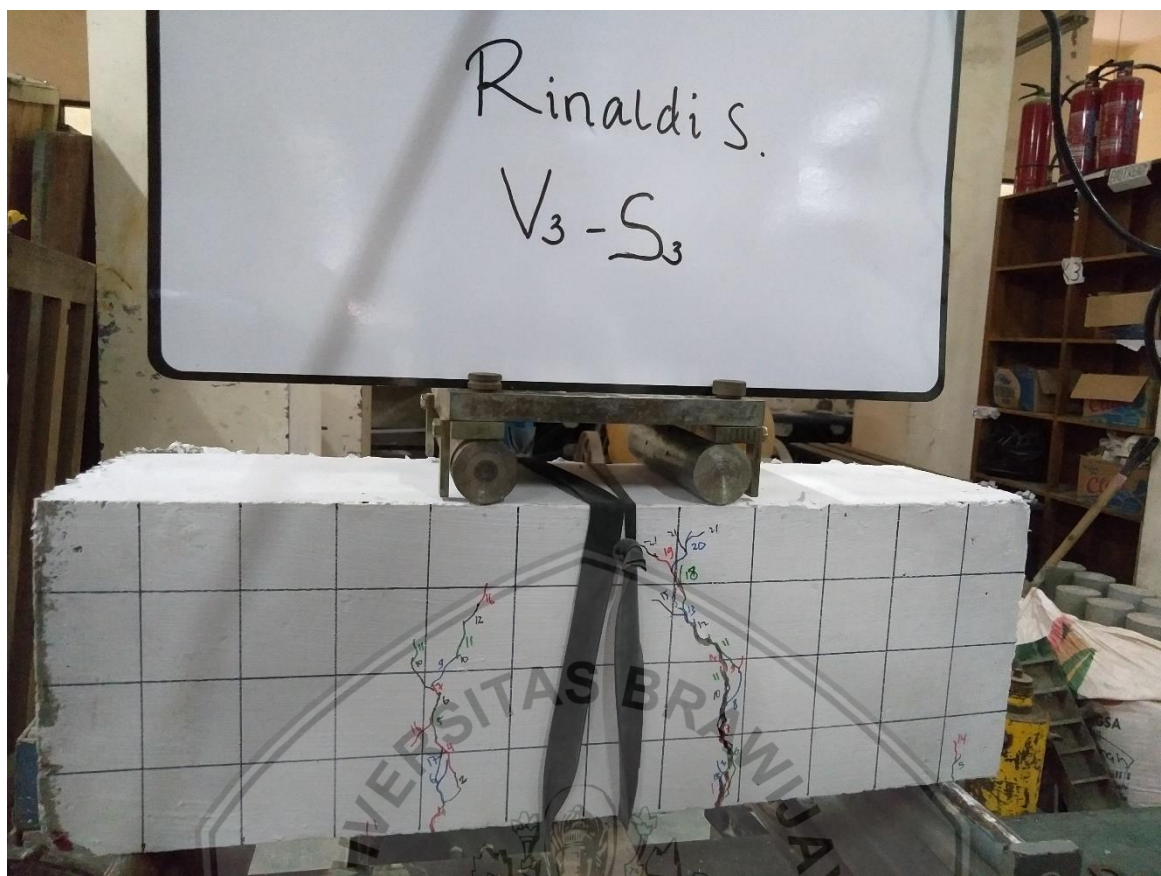


**Lampiran 6 Dokumentasi Pengujian Kuat Geser Balok**











## Lampiran 7 Data Pengujian Benda Uji

Benda Uji V1-S1

| No | Tahap Beban | Beban | Lendutan (mm) |
|----|-------------|-------|---------------|
|    | (kg)        | (kg)  |               |
| 1  | 50          | 50    | 0             |
| 2  | 50          | 100   | 0             |
| 3  | 50          | 150   | 0             |
| 4  | 50          | 200   | 0             |
| 5  | 50          | 250   | 0             |
| 6  | 50          | 300   | 0             |
| 7  | 50          | 350   | 0             |
| 8  | 50          | 400   | 0             |
| 9  | 50          | 450   | 0             |
| 10 | 50          | 500   | 0             |
| 11 | 50          | 550   | 0             |
| 12 | 50          | 600   | 0             |
| 13 | 50          | 650   | 0             |
| 14 | 50          | 700   | 0             |
| 15 | 50          | 750   | 0             |
| 16 | 50          | 800   | 0             |
| 17 | 50          | 850   | 0             |
| 18 | 50          | 900   | 0             |
| 19 | 50          | 950   | 0             |
| 20 | 50          | 1000  | 0             |
| 21 | 50          | 1050  | 0             |
| 22 | 50          | 1100  | 0             |
| 23 | 50          | 1150  | 0             |
| 24 | 50          | 1200  | 0             |
| 25 | 50          | 1250  | 0             |
| 26 | 50          | 1300  | 0             |
| 27 | 50          | 1350  | 0             |
| 28 | 50          | 1400  | 0             |
| 29 | 50          | 1450  | 0             |
| 30 | 50          | 1500  | 0             |
| 31 | 50          | 1550  | 0             |
| 32 | 50          | 1600  | 0             |
| 33 | 50          | 1650  | 0             |
| 34 | 50          | 1700  | 0.11          |
| 35 | 50          | 1750  | 0.21          |
| 36 | 50          | 1800  | 0.25          |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 37 | 50 | 1850 | 0.34 |
| 38 | 50 | 1900 | 0.4  |
| 39 | 50 | 1950 | 0.49 |
| 40 | 50 | 2000 | 0.54 |
| 41 | 50 | 2050 | 0.62 |
| 42 | 50 | 2100 | 0.66 |
| 43 | 50 | 2150 | 0.79 |
| 44 | 50 | 2200 | 0.81 |
| 45 | 50 | 2250 | 0.91 |
| 46 | 50 | 2300 | 0.97 |
| 47 | 50 | 2350 | 1.1  |
| 48 | 50 | 2400 | 1.17 |
| 49 | 50 | 2450 | 1.31 |
| 50 | 50 | 2500 | 1.37 |
| 51 | 50 | 2550 | 1.52 |
| 52 | 50 | 2600 | 1.6  |
| 53 | 50 | 2650 | 1.73 |
| 54 | 50 | 2700 | 1.86 |
| 55 | 50 | 2750 | 2.3  |
| 56 | 50 | 2800 | 2.41 |

Benda Uji V1-S2

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0             |
| 2  | 50                  | 100           | 0             |
| 3  | 50                  | 150           | 0             |
| 4  | 50                  | 200           | 0             |
| 5  | 50                  | 250           | 0             |
| 6  | 50                  | 300           | 0             |
| 7  | 50                  | 350           | 0             |
| 8  | 50                  | 400           | 0             |
| 9  | 50                  | 450           | 0             |
| 10 | 50                  | 500           | 0             |
| 11 | 50                  | 550           | 0             |
| 12 | 50                  | 600           | 0             |
| 13 | 50                  | 650           | 0             |
| 14 | 50                  | 700           | 0             |
| 15 | 50                  | 750           | 0             |



|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 16 | 50 | 800  | 0    |
| 17 | 50 | 850  | 0    |
| 18 | 50 | 900  | 0    |
| 19 | 50 | 950  | 0    |
| 20 | 50 | 1000 | 0    |
| 21 | 50 | 1050 | 0    |
| 22 | 50 | 1100 | 0    |
| 23 | 50 | 1150 | 0    |
| 24 | 50 | 1200 | 0.07 |
| 25 | 50 | 1250 | 0.15 |
| 26 | 50 | 1300 | 0.26 |
| 27 | 50 | 1350 | 0.33 |
| 28 | 50 | 1400 | 0.41 |
| 29 | 50 | 1450 | 0.52 |
| 30 | 50 | 1500 | 0.57 |
| 31 | 50 | 1550 | 0.64 |
| 32 | 50 | 1600 | 0.7  |
| 33 | 50 | 1650 | 0.78 |
| 34 | 50 | 1700 | 0.84 |
| 35 | 50 | 1750 | 0.92 |
| 36 | 50 | 1800 | 1.02 |
| 37 | 50 | 1850 | 1.09 |
| 38 | 50 | 1900 | 1.17 |
| 39 | 50 | 1950 | 1.25 |
| 40 | 50 | 2000 | 1.34 |
| 41 | 50 | 2050 | 1.45 |
| 42 | 50 | 2100 | 1.53 |
| 43 | 50 | 2150 | 1.63 |
| 44 | 50 | 2200 | 1.73 |
| 45 | 50 | 2250 | 1.83 |
| 46 | 50 | 2300 | 1.94 |
| 47 | 50 | 2350 | 2.06 |
| 48 | 50 | 2400 | 2.18 |
| 49 | 50 | 2450 | 2.48 |

## Benda Uji V1-S3

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0             |
| 2  | 50                  | 100           | 0             |
| 3  | 50                  | 150           | 0             |
| 4  | 50                  | 200           | 0             |
| 5  | 50                  | 250           | 0             |
| 6  | 50                  | 300           | 0             |
| 7  | 50                  | 350           | 0             |
| 8  | 50                  | 400           | 0             |
| 9  | 50                  | 450           | 0             |
| 10 | 50                  | 500           | 0             |
| 11 | 50                  | 550           | 0             |
| 12 | 50                  | 600           | 0             |
| 13 | 50                  | 650           | 0             |
| 14 | 50                  | 700           | 0             |
| 15 | 50                  | 750           | 0             |
| 16 | 50                  | 800           | 0             |
| 17 | 50                  | 850           | 0             |
| 18 | 50                  | 900           | 0             |
| 19 | 50                  | 950           | 0             |
| 20 | 50                  | 1000          | 0             |
| 21 | 50                  | 1050          | 0             |
| 22 | 50                  | 1100          | 0             |
| 23 | 50                  | 1150          | 0             |
| 24 | 50                  | 1200          | 0             |
| 25 | 50                  | 1250          | 0             |
| 26 | 50                  | 1300          | 0             |
| 27 | 50                  | 1350          | 0             |
| 28 | 50                  | 1400          | 0             |
| 29 | 50                  | 1450          | 0.11          |
| 30 | 50                  | 1500          | 0.16          |
| 31 | 50                  | 1550          | 0.23          |
| 32 | 50                  | 1600          | 0.29          |
| 33 | 50                  | 1650          | 0.38          |
| 34 | 50                  | 1700          | 0.44          |
| 35 | 50                  | 1750          | 0.57          |
| 36 | 50                  | 1800          | 0.62          |
| 37 | 50                  | 1850          | 0.7           |
| 38 | 50                  | 1900          | 0.74          |
| 39 | 50                  | 1950          | 0.87          |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 40 | 50 | 2000 | 0.98 |
| 41 | 50 | 2050 | 1.16 |
| 42 | 50 | 2100 | 1.36 |
| 43 | 50 | 2150 | 1.43 |
| 44 | 50 | 2200 | 1.54 |
| 45 | 50 | 2250 | 1.68 |
| 46 | 50 | 2300 | 1.77 |
| 47 | 50 | 2350 | 1.87 |
| 48 | 50 | 2400 | 1.99 |
| 49 | 50 | 2450 | 2.26 |
| 50 | 50 | 2500 | 2.49 |

## Benda Uji V2-S1

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0             |
| 2  | 50                  | 100           | 0             |
| 3  | 50                  | 150           | 0             |
| 4  | 50                  | 200           | 0             |
| 5  | 50                  | 250           | 0             |
| 6  | 50                  | 300           | 0             |
| 7  | 50                  | 350           | 0             |
| 8  | 50                  | 400           | 0             |
| 9  | 50                  | 450           | 0.2           |
| 10 | 50                  | 500           | 0.28          |
| 11 | 50                  | 550           | 0.41          |
| 12 | 50                  | 600           | 0.54          |
| 13 | 50                  | 650           | 0.64          |
| 14 | 50                  | 700           | 0.75          |
| 15 | 50                  | 750           | 0.81          |
| 16 | 50                  | 800           | 0.91          |
| 17 | 50                  | 850           | 1.04          |
| 18 | 50                  | 900           | 1.12          |
| 19 | 50                  | 950           | 1.28          |
| 20 | 50                  | 1000          | 1.35          |
| 21 | 50                  | 1050          | 1.41          |
| 22 | 50                  | 1100          | 1.48          |
| 23 | 50                  | 1150          | 1.55          |
| 24 | 50                  | 1200          | 1.62          |
| 25 | 50                  | 1250          | 1.7           |
| 26 | 50                  | 1300          | 1.76          |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 27 | 50 | 1350 | 1.84 |
| 28 | 50 | 1400 | 1.89 |
| 29 | 50 | 1450 | 1.93 |
| 30 | 50 | 1500 | 1.98 |
| 31 | 50 | 1550 | 2.14 |
| 32 | 50 | 1600 | 2.19 |
| 33 | 50 | 1650 | 2.27 |
| 34 | 50 | 1700 | 2.32 |
| 35 | 50 | 1750 | 2.4  |
| 36 | 50 | 1800 | 2.42 |
| 37 | 50 | 1850 | 2.46 |
| 38 | 50 | 1900 | 2.55 |
| 39 | 50 | 1950 | 2.67 |
| 40 | 50 | 2000 | 2.72 |
| 41 | 50 | 2050 | 2.78 |
| 42 | 50 | 2100 | 2.83 |
| 43 | 50 | 2150 | 2.94 |
| 44 | 50 | 2200 | 3.02 |
| 45 | 50 | 2250 | 3.08 |
| 46 | 50 | 2300 | 3.16 |
| 47 | 50 | 2350 | 3.26 |
| 48 | 50 | 2400 | 3.42 |
| 49 | 50 | 2450 | 3.6  |
| 50 | 50 | 2500 | 3.75 |
| 51 | 50 | 2550 | 4.04 |

Benda Uji V2-S2

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0             |
| 2  | 50                  | 100           | 0             |
| 3  | 50                  | 150           | 0             |
| 4  | 50                  | 200           | 0             |
| 5  | 50                  | 250           | 0             |
| 6  | 50                  | 300           | 0             |
| 7  | 50                  | 350           | 0             |
| 8  | 50                  | 400           | 0             |
| 9  | 50                  | 450           | 0             |
| 10 | 50                  | 500           | 0             |
| 11 | 50                  | 550           | 0.15          |
| 12 | 50                  | 600           | 0.3           |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 13 | 50 | 650  | 0.42 |
| 14 | 50 | 700  | 0.54 |
| 15 | 50 | 750  | 0.66 |
| 16 | 50 | 800  | 0.79 |
| 17 | 50 | 850  | 0.93 |
| 18 | 50 | 900  | 1.07 |
| 19 | 50 | 950  | 1.22 |
| 20 | 50 | 1000 | 1.37 |
| 21 | 50 | 1050 | 1.52 |
| 22 | 50 | 1100 | 1.63 |
| 23 | 50 | 1150 | 1.79 |
| 24 | 50 | 1200 | 1.9  |
| 25 | 50 | 1250 | 2.03 |
| 26 | 50 | 1300 | 2.16 |
| 27 | 50 | 1350 | 2.31 |
| 28 | 50 | 1400 | 2.47 |
| 29 | 50 | 1450 | 2.61 |
| 30 | 50 | 1500 | 2.74 |
| 31 | 50 | 1550 | 2.86 |
| 32 | 50 | 1600 | 3.03 |
| 33 | 50 | 1650 | 3.17 |
| 34 | 50 | 1700 | 3.32 |
| 35 | 50 | 1750 | 3.46 |
| 36 | 50 | 1800 | 3.58 |
| 37 | 50 | 1850 | 3.78 |
| 38 | 50 | 1900 | 3.86 |
| 39 | 50 | 1950 | 4.05 |
| 40 | 50 | 2000 | 4.16 |
| 41 | 50 | 2050 | 4.31 |
| 42 | 50 | 2100 | 4.5  |
| 43 | 50 | 2150 | 4.61 |
| 44 | 50 | 2200 | 4.86 |
| 45 | 50 | 2250 | 5    |
| 46 | 50 | 2300 | 5.12 |
| 47 | 50 | 2350 | 5.24 |
| 48 | 50 | 2400 | 5.37 |
| 49 | 50 | 2450 | 5.54 |
| 50 | 50 | 2500 | 5.72 |
| 51 | 50 | 2550 | 5.9  |
| 52 | 50 | 2600 | 6.25 |
| 53 | 50 | 2650 | 6.65 |

## Benda Uji V2-S3

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0             |
| 2  | 50                  | 100           | 0             |
| 3  | 50                  | 150           | 0             |
| 4  | 50                  | 200           | 0             |
| 5  | 50                  | 250           | 0             |
| 6  | 50                  | 300           | 0             |
| 7  | 50                  | 350           | 0.11          |
| 8  | 50                  | 400           | 0.32          |
| 9  | 50                  | 450           | 0.52          |
| 10 | 50                  | 500           | 0.69          |
| 11 | 50                  | 550           | 0.9           |
| 12 | 50                  | 600           | 1.05          |
| 13 | 50                  | 650           | 1.25          |
| 14 | 50                  | 700           | 1.45          |
| 15 | 50                  | 750           | 1.69          |
| 16 | 50                  | 800           | 1.82          |
| 17 | 50                  | 850           | 1.92          |
| 18 | 50                  | 900           | 2.08          |
| 19 | 50                  | 950           | 2.26          |
| 20 | 50                  | 1000          | 2.34          |
| 21 | 50                  | 1050          | 2.51          |
| 22 | 50                  | 1100          | 2.63          |
| 23 | 50                  | 1150          | 2.76          |
| 24 | 50                  | 1200          | 2.82          |
| 25 | 50                  | 1250          | 3.08          |
| 26 | 50                  | 1300          | 3.17          |
| 27 | 50                  | 1350          | 3.33          |
| 28 | 50                  | 1400          | 3.51          |
| 29 | 50                  | 1450          | 3.68          |
| 30 | 50                  | 1500          | 3.85          |
| 31 | 50                  | 1550          | 3.92          |
| 32 | 50                  | 1600          | 4.19          |
| 33 | 50                  | 1650          | 4.28          |
| 34 | 50                  | 1700          | 4.44          |
| 35 | 50                  | 1750          | 4.62          |
| 36 | 50                  | 1800          | 4.71          |
| 37 | 50                  | 1850          | 4.77          |
| 38 | 50                  | 1900          | 4.86          |
| 39 | 50                  | 1950          | 4.95          |



|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 40 | 50 | 2000 | 5.06 |
| 41 | 50 | 2050 | 5.17 |
| 42 | 50 | 2100 | 5.24 |
| 43 | 50 | 2150 | 5.35 |
| 44 | 50 | 2200 | 5.44 |
| 45 | 50 | 2250 | 5.57 |
| 46 | 50 | 2300 | 5.72 |
| 47 | 50 | 2350 | 5.92 |
| 48 | 50 | 2400 | 6.14 |
| 49 | 50 | 2450 | 6.44 |

## Benda Uji V3-S1

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0             |
| 2  | 50                  | 100           | 0             |
| 3  | 50                  | 150           | 0             |
| 4  | 50                  | 200           | 0             |
| 5  | 50                  | 250           | 0             |
| 6  | 50                  | 300           | 0             |
| 7  | 50                  | 350           | 0             |
| 8  | 50                  | 400           | 0             |
| 9  | 50                  | 450           | 0             |
| 10 | 50                  | 500           | 0.23          |
| 11 | 50                  | 550           | 0.4           |
| 12 | 50                  | 600           | 0.57          |
| 13 | 50                  | 650           | 0.73          |
| 14 | 50                  | 700           | 0.89          |
| 15 | 50                  | 750           | 1.05          |
| 16 | 50                  | 800           | 1.19          |
| 17 | 50                  | 850           | 1.31          |
| 18 | 50                  | 900           | 1.44          |
| 19 | 50                  | 950           | 1.6           |
| 20 | 50                  | 1000          | 1.67          |
| 21 | 50                  | 1050          | 1.78          |
| 22 | 50                  | 1100          | 1.88          |
| 23 | 50                  | 1150          | 1.98          |
| 24 | 50                  | 1200          | 2.13          |
| 25 | 50                  | 1250          | 2.26          |
| 26 | 50                  | 1300          | 2.29          |
| 27 | 50                  | 1350          | 2.41          |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 28 | 50 | 1400 | 2.49 |
| 29 | 50 | 1450 | 2.52 |
| 30 | 50 | 1500 | 2.6  |
| 31 | 50 | 1550 | 2.7  |
| 32 | 50 | 1600 | 2.82 |
| 33 | 50 | 1650 | 2.92 |
| 34 | 50 | 1700 | 3    |
| 35 | 50 | 1750 | 3.12 |
| 36 | 50 | 1800 | 3.2  |
| 37 | 50 | 1850 | 3.29 |
| 38 | 50 | 1900 | 3.4  |
| 39 | 50 | 1950 | 3.47 |
| 40 | 50 | 2000 | 3.65 |
| 41 | 50 | 2050 | 3.69 |
| 42 | 50 | 2100 | 3.75 |
| 43 | 50 | 2150 | 3.92 |
| 44 | 50 | 2200 | 4.05 |
| 45 | 50 | 2250 | 4.21 |
| 46 | 50 | 2300 | 4.47 |

Benda Uji V3-S2

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0             |
| 2  | 50                  | 100           | 0             |
| 3  | 50                  | 150           | 0             |
| 4  | 50                  | 200           | 0             |
| 5  | 50                  | 250           | 0             |
| 6  | 50                  | 300           | 0             |
| 7  | 50                  | 350           | 0             |
| 8  | 50                  | 400           | 0.17          |
| 9  | 50                  | 450           | 0.3           |
| 10 | 50                  | 500           | 0.43          |
| 11 | 50                  | 550           | 0.55          |
| 12 | 50                  | 600           | 0.66          |
| 13 | 50                  | 650           | 0.74          |
| 14 | 50                  | 700           | 0.82          |
| 15 | 50                  | 750           | 0.89          |
| 16 | 50                  | 800           | 0.95          |
| 17 | 50                  | 850           | 1.01          |
| 18 | 50                  | 900           | 1.06          |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 19 | 50 | 950  | 1.12 |
| 20 | 50 | 1000 | 1.18 |
| 21 | 50 | 1050 | 1.23 |
| 22 | 50 | 1100 | 1.28 |
| 23 | 50 | 1150 | 1.34 |
| 24 | 50 | 1200 | 1.39 |
| 25 | 50 | 1250 | 1.46 |
| 26 | 50 | 1300 | 1.53 |
| 27 | 50 | 1350 | 1.59 |
| 28 | 50 | 1400 | 1.67 |
| 29 | 50 | 1450 | 1.74 |
| 30 | 50 | 1500 | 1.8  |
| 31 | 50 | 1550 | 1.88 |
| 32 | 50 | 1600 | 1.92 |
| 33 | 50 | 1650 | 2    |
| 34 | 50 | 1700 | 2.07 |
| 35 | 50 | 1750 | 2.17 |
| 36 | 50 | 1800 | 2.24 |
| 37 | 50 | 1850 | 2.32 |
| 38 | 50 | 1900 | 2.4  |
| 39 | 50 | 1950 | 2.48 |
| 40 | 50 | 2000 | 2.61 |
| 41 | 50 | 2050 | 2.68 |
| 42 | 50 | 2100 | 2.78 |
| 43 | 50 | 2150 | 2.86 |
| 44 | 50 | 2200 | 2.99 |
| 45 | 50 | 2250 | 3.1  |
| 46 | 50 | 2300 | 3.37 |
| 47 | 50 | 2350 | 3.7  |

Benda Uji V3-S3

| No | Tahap Beban (kg) | Beban (kg) | Lendutan (mm) |
|----|------------------|------------|---------------|
| 1  | 50               | 50         | 0             |
| 2  | 50               | 100        | 0             |
| 3  | 50               | 150        | 0             |
| 4  | 50               | 200        | 0             |
| 5  | 50               | 250        | 0             |
| 6  | 50               | 300        | 0             |
| 7  | 50               | 350        | 0             |
| 8  | 50               | 400        | 0             |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 9  | 50 | 450  | 0    |
| 10 | 50 | 500  | 0    |
| 11 | 50 | 550  | 0    |
| 12 | 50 | 600  | 0    |
| 13 | 50 | 650  | 0    |
| 14 | 50 | 700  | 0    |
| 15 | 50 | 750  | 0    |
| 16 | 50 | 800  | 0    |
| 17 | 50 | 850  | 0    |
| 18 | 50 | 900  | 0.11 |
| 19 | 50 | 950  | 0.17 |
| 20 | 50 | 1000 | 0.23 |
| 21 | 50 | 1050 | 0.28 |
| 22 | 50 | 1100 | 0.35 |
| 23 | 50 | 1150 | 0.41 |
| 24 | 50 | 1200 | 0.48 |
| 25 | 50 | 1250 | 0.53 |
| 26 | 50 | 1300 | 0.6  |
| 27 | 50 | 1350 | 0.7  |
| 28 | 50 | 1400 | 0.79 |
| 29 | 50 | 1450 | 0.91 |
| 30 | 50 | 1500 | 0.99 |
| 31 | 50 | 1550 | 1.12 |
| 32 | 50 | 1600 | 1.25 |
| 33 | 50 | 1650 | 1.37 |
| 34 | 50 | 1700 | 1.61 |
| 35 | 50 | 1750 | 1.85 |
| 36 | 50 | 1800 | 2.08 |
| 37 | 50 | 1850 | 2.93 |
| 38 | 50 | 1900 | 3.6  |
| 39 | 50 | 1950 | 4.03 |
| 40 | 50 | 2000 | 4.9  |

Benda Uji Betn Normal 1 (BN1)

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0.14          |
| 2  | 50                  | 100           | 0.34          |
| 3  | 50                  | 150           | 0.39          |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 4  | 50 | 200  | 0.42 |
| 5  | 50 | 250  | 0.47 |
| 6  | 50 | 300  | 0.52 |
| 7  | 50 | 350  | 0.56 |
| 8  | 50 | 400  | 0.61 |
| 9  | 50 | 450  | 0.63 |
| 10 | 50 | 500  | 0.65 |
| 11 | 50 | 550  | 0.71 |
| 12 | 50 | 600  | 0.76 |
| 13 | 50 | 650  | 0.81 |
| 14 | 50 | 700  | 0.85 |
| 15 | 50 | 750  | 0.9  |
| 16 | 50 | 800  | 0.95 |
| 17 | 50 | 850  | 1    |
| 18 | 50 | 900  | 1.04 |
| 19 | 50 | 950  | 1.07 |
| 20 | 50 | 1000 | 1.09 |
| 21 | 50 | 1050 | 1.16 |
| 22 | 50 | 1100 | 1.2  |
| 23 | 50 | 1150 | 1.25 |
| 24 | 50 | 1200 | 1.29 |
| 25 | 50 | 1250 | 1.33 |
| 26 | 50 | 1300 | 1.37 |
| 27 | 50 | 1350 | 1.4  |
| 28 | 50 | 1400 | 1.44 |
| 29 | 50 | 1450 | 1.47 |
| 30 | 50 | 1500 | 1.51 |
| 31 | 50 | 1550 | 1.56 |
| 32 | 50 | 1600 | 1.58 |
| 33 | 50 | 1650 | 1.62 |
| 34 | 50 | 1700 | 1.65 |
| 35 | 50 | 1750 | 1.66 |
| 36 | 50 | 1800 | 1.68 |
| 37 | 50 | 1850 | 1.7  |
| 38 | 50 | 1900 | 1.74 |
| 39 | 50 | 1950 | 1.75 |
| 40 | 50 | 2000 | 1.79 |
| 41 | 50 | 2050 | 1.8  |
| 42 | 50 | 2100 | 1.82 |
| 43 | 50 | 2150 | 1.86 |
| 44 | 50 | 2200 | 1.88 |
| 45 | 50 | 2250 | 1.89 |
| 46 | 50 | 2300 | 1.91 |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 47 | 50 | 2350 | 1.92 |
| 48 | 50 | 2400 | 1.95 |
| 49 | 50 | 2450 | 1.96 |
| 50 | 50 | 2500 | 2    |
| 51 | 50 | 2550 | 2.02 |
| 52 | 50 | 2600 | 2.04 |
| 53 | 50 | 2650 | 2.09 |
| 54 | 50 | 2700 | 2.86 |
| 55 | 50 | 2750 | 3.02 |
| 56 | 50 | 2800 | 3.12 |
| 57 | 50 | 2850 | 3.19 |
| 58 | 50 | 2900 | 3.26 |
| 59 | 50 | 2950 | 3.41 |
| 60 | 50 | 3000 | 3.5  |
| 61 | 50 | 3050 | 3.66 |
| 62 | 50 | 3100 | 4.24 |
| 63 | 50 | 2700 | 5.98 |

Benda Uji Betn Normal 2 (BN2)

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0.13          |
| 2  | 50                  | 100           | 0.34          |
| 3  | 50                  | 150           | 0.56          |
| 4  | 50                  | 200           | 0.67          |
| 5  | 50                  | 250           | 0.81          |
| 6  | 50                  | 300           | 0.96          |
| 7  | 50                  | 350           | 1.07          |
| 8  | 50                  | 400           | 1.15          |
| 9  | 50                  | 450           | 1.24          |
| 10 | 50                  | 500           | 1.33          |
| 11 | 50                  | 550           | 1.41          |
| 12 | 50                  | 600           | 1.47          |
| 13 | 50                  | 650           | 1.53          |
| 14 | 50                  | 700           | 1.6           |
| 15 | 50                  | 750           | 1.67          |
| 16 | 50                  | 800           | 1.71          |
| 17 | 50                  | 850           | 1.79          |
| 18 | 50                  | 900           | 1.89          |
| 19 | 50                  | 950           | 2.02          |
| 20 | 50                  | 1000          | 2.08          |



|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 21 | 50 | 1050 | 2.13 |
| 22 | 50 | 1100 | 2.18 |
| 23 | 50 | 1150 | 2.24 |
| 24 | 50 | 1200 | 2.32 |
| 25 | 50 | 1250 | 2.36 |
| 26 | 50 | 1300 | 2.41 |
| 27 | 50 | 1350 | 2.47 |
| 28 | 50 | 1400 | 2.53 |
| 29 | 50 | 1450 | 2.59 |
| 30 | 50 | 1500 | 2.63 |
| 31 | 50 | 1550 | 2.7  |
| 32 | 50 | 1600 | 2.73 |
| 33 | 50 | 1650 | 2.81 |
| 34 | 50 | 1700 | 2.85 |
| 35 | 50 | 1750 | 2.92 |
| 36 | 50 | 1800 | 2.96 |
| 37 | 50 | 1850 | 2.99 |
| 38 | 50 | 1900 | 3.05 |
| 39 | 50 | 1950 | 3.1  |
| 40 | 50 | 2000 | 3.17 |
| 41 | 50 | 2050 | 3.21 |
| 42 | 50 | 2100 | 3.27 |
| 43 | 50 | 2150 | 3.31 |
| 44 | 50 | 2200 | 3.36 |
| 45 | 50 | 2250 | 3.4  |
| 46 | 50 | 2300 | 3.45 |
| 47 | 50 | 2350 | 3.48 |
| 48 | 50 | 2400 | 3.53 |
| 49 | 50 | 2450 | 3.57 |
| 50 | 50 | 2500 | 3.6  |
| 51 | 50 | 2550 | 3.65 |
| 52 | 50 | 2600 | 3.67 |
| 53 | 50 | 2650 | 3.72 |
| 54 | 50 | 2700 | 3.75 |
| 55 | 50 | 2750 | 4.33 |
| 56 | 50 | 2800 | 4.41 |
| 57 | 50 | 2850 | 4.49 |
| 58 | 50 | 2900 | 4.58 |
| 59 | 50 | 2950 | 4.73 |
| 60 | 50 | 3000 | 4.8  |
| 61 | 50 | 3050 | 4.86 |
| 62 | 50 | 3100 | 5.04 |
| 63 | 50 | 3150 | 5.24 |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 64 | 50 | 3200 | 5.27 |
| 65 | 50 | 3250 | 5.32 |
| 66 | 50 | 3300 | 5.43 |
| 67 | 50 | 3350 | 5.65 |
| 68 | 50 | 3400 | 5.78 |
| 69 | 50 | 3450 | 6.15 |
| 70 | 50 | 3500 | 6.58 |
| 71 | 50 | 3550 | 6.98 |
| 72 | 50 | 3600 | 7.88 |
| 73 | 50 | 3150 | 9.92 |

Benda Uji Betn Normal 3 (BN3)

| No | Tahap Beban<br>(kg) | Beban<br>(kg) | Lendutan (mm) |
|----|---------------------|---------------|---------------|
| 1  | 50                  | 50            | 0.01          |
| 2  | 50                  | 100           | 0.02          |
| 3  | 50                  | 150           | 0.06          |
| 4  | 50                  | 200           | 0.14          |
| 5  | 50                  | 250           | 0.2           |
| 6  | 50                  | 300           | 0.26          |
| 7  | 50                  | 350           | 0.34          |
| 8  | 50                  | 400           | 0.36          |
| 9  | 50                  | 450           | 0.43          |
| 10 | 50                  | 500           | 0.47          |
| 11 | 50                  | 550           | 0.51          |
| 12 | 50                  | 600           | 0.57          |
| 13 | 50                  | 650           | 0.63          |
| 14 | 50                  | 700           | 0.67          |
| 15 | 50                  | 750           | 0.71          |
| 16 | 50                  | 800           | 0.76          |
| 17 | 50                  | 850           | 0.81          |
| 18 | 50                  | 900           | 0.86          |
| 19 | 50                  | 950           | 0.91          |
| 20 | 50                  | 1000          | 0.96          |
| 21 | 50                  | 1050          | 1.02          |
| 22 | 50                  | 1100          | 1.06          |
| 23 | 50                  | 1150          | 1.09          |
| 24 | 50                  | 1200          | 1.14          |
| 25 | 50                  | 1250          | 1.15          |
| 26 | 50                  | 1300          | 1.19          |
| 27 | 50                  | 1350          | 1.27          |

|    |    |      |      |
|----|----|------|------|
| 28 | 50 | 1400 | 1.29 |
| 29 | 50 | 1450 | 1.32 |
| 30 | 50 | 1500 | 1.36 |
| 31 | 50 | 1550 | 1.39 |
| 32 | 50 | 1600 | 1.4  |
| 33 | 50 | 1650 | 1.43 |
| 34 | 50 | 1700 | 1.46 |
| 35 | 50 | 1750 | 1.49 |
| 36 | 50 | 1800 | 1.51 |
| 37 | 50 | 1850 | 1.53 |
| 38 | 50 | 1900 | 1.56 |
| 39 | 50 | 1950 | 1.58 |
| 40 | 50 | 2000 | 1.61 |
| 41 | 50 | 2050 | 1.63 |
| 42 | 50 | 2100 | 1.66 |
| 43 | 50 | 2150 | 1.69 |
| 44 | 50 | 2200 | 1.72 |
| 45 | 50 | 2250 | 1.74 |
| 46 | 50 | 2300 | 1.78 |
| 47 | 50 | 2350 | 1.8  |
| 48 | 50 | 2400 | 1.83 |
| 49 | 50 | 2450 | 1.88 |
| 50 | 50 | 2500 | 1.89 |
| 51 | 50 | 2550 | 1.93 |
| 52 | 50 | 2600 | 1.94 |
| 53 | 50 | 2650 | 1.96 |
| 54 | 50 | 2700 | 1.98 |
| 55 | 50 | 2750 | 1.99 |
| 56 | 50 | 2800 | 2.03 |
| 57 | 50 | 2850 | 3.21 |
| 58 | 50 | 2900 | 3.36 |
| 59 | 50 | 2950 | 3.53 |
| 60 | 50 | 3000 | 3.69 |
| 61 | 50 | 3050 | 4.05 |
| 62 | 50 | 3100 | 4.71 |
| 63 | 50 | 2500 | 5.68 |

## Lampiran 8 Tabel F Uji Hipotesis Menggunakan Anova

| Table H  |       | $\alpha = 0.05$                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |  |
|--|-------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|--|
| d.f.D.:<br>degrees of<br>freedom,<br>denominator |       | d.f.N.: degrees of freedom, numerator |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |  |
|  |       | 1                                     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 12    | 15    | 20    | 24    | 30    | 40    | 60    | 120   | $\infty$ |  |
| 1  | 161.4 | 199.5                                 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 236.8 | 238.9 | 240.5 | 241.9 | 243.9 | 245.9 | 248.0 | 249.1 | 250.1 | 251.1 | 252.2 | 253.3 | 254.3 | 254.3    |  |
| 2  | 18.51 | 19.00                                 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.38 | 19.40 | 19.41 | 19.43 | 19.45 | 19.45 | 19.46 | 19.47 | 19.48 | 19.49 | 19.50 | 19.50    |  |
| 3  | 10.13 | 9.55                                  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.89  | 8.85  | 8.81  | 8.79  | 8.74  | 8.70  | 8.66  | 8.64  | 8.62  | 8.59  | 8.57  | 8.55  | 8.53  | 8.53     |  |
| 4  | 7.71  | 6.94                                  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.09  | 6.04  | 6.00  | 5.96  | 5.91  | 5.86  | 5.80  | 5.77  | 5.75  | 5.72  | 5.69  | 5.66  | 5.63  | 5.63     |  |
| 5  | 6.61  | 5.79                                  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.88  | 4.82  | 4.77  | 4.74  | 4.68  | 4.62  | 4.56  | 4.53  | 4.50  | 4.46  | 4.43  | 4.40  | 4.36  | 4.36     |  |
| 6  | 5.99  | 5.14                                  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.21  | 4.15  | 4.10  | 4.06  | 4.00  | 3.94  | 3.87  | 3.84  | 3.81  | 3.77  | 3.74  | 3.70  | 3.67  | 3.67     |  |
| 7  | 5.59  | 4.74                                  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.79  | 3.73  | 3.68  | 3.64  | 3.57  | 3.51  | 3.44  | 3.41  | 3.38  | 3.34  | 3.30  | 3.27  | 3.23  | 3.23     |  |
| 8  | 5.32  | 4.46                                  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.50  | 3.44  | 3.39  | 3.35  | 3.28  | 3.22  | 3.15  | 3.12  | 3.08  | 3.04  | 3.01  | 2.97  | 2.93  | 2.93     |  |
| 9  | 5.12  | 4.26                                  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.29  | 3.23  | 3.18  | 3.14  | 3.07  | 3.01  | 2.94  | 2.90  | 2.86  | 2.83  | 2.79  | 2.75  | 2.71  | 2.71     |  |
| 10   | 4.96  | 4.10                                  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.14  | 3.07  | 3.02  | 2.98  | 2.91  | 2.85  | 2.77  | 2.74  | 2.70  | 2.66  | 2.62  | 2.58  | 2.54  | 2.54     |  |
| 11   | 4.84  | 3.98                                  | 3.59  | 3.36  | 3.20  | 3.09  | 3.01  | 2.95  | 2.90  | 2.85  | 2.79  | 2.72  | 2.65  | 2.61  | 2.57  | 2.53  | 2.49  | 2.45  | 2.40  | 2.40     |  |
| 12   | 4.75  | 3.89                                  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.91  | 2.85  | 2.80  | 2.75  | 2.69  | 2.62  | 2.54  | 2.51  | 2.47  | 2.43  | 2.38  | 2.34  | 2.30  | 2.30     |  |
| 13   | 4.67  | 3.81                                  | 3.41  | 3.18  | 3.03  | 2.92  | 2.83  | 2.77  | 2.71  | 2.67  | 2.60  | 2.53  | 2.46  | 2.42  | 2.38  | 2.34  | 2.30  | 2.25  | 2.21  | 2.21     |  |
| 14   | 4.60  | 3.74                                  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.76  | 2.70  | 2.65  | 2.60  | 2.53  | 2.46  | 2.39  | 2.35  | 2.31  | 2.27  | 2.22  | 2.18  | 2.13  | 2.13     |  |
| 15   | 4.54  | 3.68                                  | 3.29  | 3.06  | 2.90  | 2.79  | 2.71  | 2.64  | 2.59  | 2.54  | 2.48  | 2.40  | 2.33  | 2.29  | 2.25  | 2.20  | 2.16  | 2.11  | 2.07  | 2.07     |  |
| 16   | 4.49  | 3.63                                  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.66  | 2.59  | 2.54  | 2.49  | 2.42  | 2.35  | 2.28  | 2.24  | 2.19  | 2.15  | 2.11  | 2.06  | 2.01  | 2.01     |  |
| 17   | 4.45  | 3.59                                  | 3.20  | 2.96  | 2.81  | 2.70  | 2.61  | 2.55  | 2.49  | 2.45  | 2.38  | 2.31  | 2.23  | 2.19  | 2.15  | 2.10  | 2.06  | 2.01  | 1.96  | 1.96     |  |
| 18   | 4.41  | 3.55                                  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.58  | 2.51  | 2.46  | 2.41  | 2.34  | 2.27  | 2.19  | 2.15  | 2.11  | 2.06  | 2.02  | 1.97  | 1.92  | 1.92     |  |
| 19   | 4.38  | 3.52                                  | 3.13  | 2.90  | 2.74  | 2.63  | 2.54  | 2.48  | 2.42  | 2.38  | 2.31  | 2.23  | 2.16  | 2.11  | 2.07  | 2.03  | 1.98  | 1.93  | 1.88  | 1.88     |  |
| 20   | 4.35  | 3.49                                  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.51  | 2.45  | 2.39  | 2.35  | 2.28  | 2.20  | 2.12  | 2.08  | 2.04  | 1.99  | 1.95  | 1.90  | 1.84  | 1.84     |  |
| 21   | 4.32  | 3.47                                  | 3.07  | 2.84  | 2.68  | 2.57  | 2.49  | 2.42  | 2.37  | 2.32  | 2.25  | 2.18  | 2.10  | 2.05  | 2.01  | 1.96  | 1.92  | 1.87  | 1.81  | 1.81     |  |
| 22   | 4.30  | 3.44                                  | 3.05  | 2.82  | 2.66  | 2.55  | 2.46  | 2.40  | 2.34  | 2.30  | 2.23  | 2.15  | 2.07  | 2.03  | 1.98  | 1.94  | 1.89  | 1.84  | 1.78  | 1.78     |  |
| 23   | 4.28  | 3.42                                  | 3.03  | 2.80  | 2.64  | 2.53  | 2.44  | 2.37  | 2.32  | 2.27  | 2.20  | 2.13  | 2.05  | 2.01  | 1.96  | 1.91  | 1.86  | 1.81  | 1.76  | 1.76     |  |
| 24   | 4.26  | 3.40                                  | 3.01  | 2.78  | 2.62  | 2.51  | 2.42  | 2.36  | 2.30  | 2.25  | 2.18  | 2.11  | 2.03  | 1.98  | 1.94  | 1.89  | 1.84  | 1.79  | 1.73  | 1.73     |  |
| 25   | 4.24  | 3.39                                  | 2.99  | 2.76  | 2.60  | 2.49  | 2.40  | 2.34  | 2.28  | 2.24  | 2.16  | 2.09  | 2.01  | 1.96  | 1.92  | 1.87  | 1.82  | 1.77  | 1.71  | 1.71     |  |
| 26   | 4.23  | 3.37                                  | 2.98  | 2.74  | 2.59  | 2.47  | 2.39  | 2.32  | 2.27  | 2.22  | 2.15  | 2.07  | 1.99  | 1.95  | 1.90  | 1.85  | 1.80  | 1.75  | 1.69  | 1.69     |  |
| 27   | 4.21  | 3.35                                  | 2.96  | 2.73  | 2.57  | 2.46  | 2.37  | 2.31  | 2.25  | 2.20  | 2.13  | 2.06  | 1.97  | 1.93  | 1.88  | 1.83  | 1.79  | 1.73  | 1.67  | 1.67     |  |
| 28   | 4.20  | 3.34                                  | 2.95  | 2.71  | 2.56  | 2.45  | 2.36  | 2.29  | 2.24  | 2.19  | 2.12  | 2.04  | 1.96  | 1.91  | 1.87  | 1.82  | 1.77  | 1.71  | 1.65  | 1.65     |  |
| 29   | 4.18  | 3.33                                  | 2.93  | 2.70  | 2.55  | 2.43  | 2.35  | 2.28  | 2.22  | 2.18  | 2.10  | 2.03  | 1.94  | 1.90  | 1.85  | 1.81  | 1.75  | 1.70  | 1.64  | 1.64     |  |
| 30   | 4.17  | 3.32                                  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.33  | 2.27  | 2.21  | 2.16  | 2.09  | 2.01  | 1.93  | 1.89  | 1.84  | 1.79  | 1.74  | 1.68  | 1.62  | 1.62     |  |
| 40   | 4.08  | 3.23                                  | 2.84  | 2.61  | 2.45  | 2.34  | 2.25  | 2.18  | 2.12  | 2.08  | 2.00  | 1.92  | 1.84  | 1.79  | 1.74  | 1.69  | 1.64  | 1.58  | 1.51  | 1.51     |  |
| 60   | 4.00  | 3.15                                  | 2.76  | 2.53  | 2.37  | 2.25  | 2.17  | 2.10  | 2.04  | 1.99  | 1.92  | 1.84  | 1.75  | 1.70  | 1.65  | 1.59  | 1.53  | 1.47  | 1.39  | 1.39     |  |
| 120  | 3.92  | 3.07                                  | 2.68  | 2.45  | 2.29  | 2.17  | 2.09  | 2.02  | 1.96  | 1.91  | 1.83  | 1.75  | 1.66  | 1.61  | 1.55  | 1.50  | 1.43  | 1.35  | 1.25  | 1.25     |  |
| $\infty$   | 3.84  | 3.00                                  | 2.60  | 2.37  | 2.21  | 2.10  | 2.01  | 1.94  | 1.88  | 1.83  | 1.75  | 1.67  | 1.57  | 1.52  | 1.46  | 1.39  | 1.32  | 1.22  | 1.00  | 1.00     |  |

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

